



SKRIPSI – ME 141501

**DESAIN FLETTNER ROTOR PADA KAPAL KONTAINER 4000 DWT
DENGAN METODE CFD**

Abdullah Azzam
NRP. 42 11 100 048

Dosen Pembimbing:
Irfan Syarif Arief, ST., MT.
Ir. H. Agoes Santoso, M. Sc, M. Phil.

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan



FINAL PROJECT – ME 141501

**DESIGN OF FLETTNER ROTOR IN CONTAINER CARRIER 4000
DWT WITH CFD METHOD**

Abdullah Azzam
NRP. 42 11 100 048

Dosen Pembimbing:
Irfan Syarif Arief, ST., MT.
Ir. H. Agoes Santoso, M. Sc, M. Phil.

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN
DESAIN FLETTNER ROTOR PADA KAPAL KONTAINER 4000
DWT DENGAN METODE CFD

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik

Pada


Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institute Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ABDULLAH AZZAM
NRP. 4211 100 048

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi:
Irfan Syarif Arief, ST., MT

Ir. H. Agoes Santoso, M. Sc, M. Phil.



SURABAYA
Juli, 2017

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN
DESAIN FLETTNER ROTOR PADA KAPAL KONTAINER 4000 DWT
DENGAN METODE CFD

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik

Pada

Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institute Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ABDULLAH AZZAM
NRP. 4211 100 048

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng. M. Badruz Zaman, S.T., M.T.
NIP. 1977 0802 2008 01 1007

SURABAYA
Juli, 2017

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DESAIN FLETTNER ROTOR PADA KAPAL KONTAINER 4000 DWT DENGAN METODE CFD

Nama Mahasiswa : Abdullah Azzam
NRP : 4211100048
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Irfan Syarif Arief, ST., MT.
2. Ir. H. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil.

Abstrak

Flettner rotor merupakan teknologi yang memanfaatkan angin di alam untuk membantu kapal melaju. Prinsip kerja flettner rotor sesuai dengan teori efek magnus, dimana gaya yang timbul terjadi akibat adanya perbedaan tekanan antara dua sisi flettner rotor. Pada skripsi ini flettner rotor yang dilakukan simulasi memiliki diameter 3 meter dengan tinggi 18 meter. Simulasi dilakukan sebanyak 16 kali dengan variasi dilakukan pada putaran rotasi rotor (0, 100, 300, 500) dan kecepatan angin (5, 10, 15, dan 20 knot). Analisa flettner rotor dilakukan dengan metode computational fluid dynamic. Hasil CFD menyatakan bahwa nilai coefficient lift terbesar ada pada flettner rotor dengan putaran rotasi 500 rpm dengan kecepatan angin 20 knot yaitu sebesar 91,13. Sedangkan dalam penggunaanya terhadap kapal kontainer 4000 DWT, flettner rotor lebih banyak berperan ketika berada pada kecepatan kapal 10 knot dengan kecepatan putaran flettner rotor 500 rpm serta kecepatan angin 5 knot yaitu sebesar 17,438% dari gaya yang harus dikeluarkan untuk menggerakkan kapal.

Kata Kunci : Flettner Rotor, Magnus Effect, CFD, Numeca

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DESIGN OF FLETTNER ROTOR IN CONTAINER CARRIER 4000 DWT WITH CFD METHOD

Name : Abdullah Azzam
NRP : 4211100048
Department : Marine Engineering
Supervisor : 1. Irfan Syarif Arief, ST., MT.
2. Ir. H. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil.

Abstract

Flettner rotor is a technology that utilizes the natural wind to help the oncoming vessel. The working principle of the flettner rotor corresponds to the theory of magnus effect, in which the force arises due to the difference in pressure between the two sides of the flettner rotor. In this research the simulated flettner rotor has a diameter of 3 meters with a height of 18 meters. Simulations were performed 16 times with variations performed on rotation of rotor (0, 100, 300, and 500 rpm) and wind speed (5, 10, 15, and 20 knots). Flettner rotor analysis is done by computational fluid dynamic method. CFD results state that the largest coefficient lift value is on the flettner rotor with rotation 500 rpm with wind speed 20 knots that is equal to 91,13. While in its use of 4000 DWT container vessel, flettner rotor is more work at the speed of vessel 10 knot with rotation speed of flettner rotor 500 rpm and wind speed 5 knot that is equal to 17,438% from force that must be expended to move ship.

Keyword :Flettner rotor, Magnus effect, CFD, Numeca

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, taufiq, serta hidayah-Nya sehingga atas izinnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir berjudul “Desain Flettner Rotor Pada Kapal Kontainer 4000 DWT Dengan Metode CFD”.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan serta dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis ingin berterima kasih dan memberikan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada pihak-pihak atas bantuan dan dukungannya.

Tugas akhir ini saya dedikasikan untuk :

1. Seluruh anggota keluarga Awal Bekari untuk dukungannya
2. Bapak Irfan Syarif Arief, ST., MT. dan Ir. Agoes Santoso, M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir atas bimbingannya. Serta Bapak Ir. Tony Bambang M. PGD., MMT. selaku dosen wali selama masa perkuliahan.
3. Teman-teman serta seluruh pihak yang tidak bisadisebutkan satu persatu.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	1
Abstrak	1
Abstract	1
Kata Pengantar	1
Daftar Isi	1
Daftar Gambar	1
Daftar Tabel	1
BAB 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Skripsi	2
1.5 Manfaat Skripsi	2
BAB 2 Tinjauan Pustaka	3
2.1 Flettner Rotor	3
2.2 Magnus Effect	5
2.3 Metode CFD	6
BAB 3 Metodologi Penelitian	9
3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah	9
3.2 Studi Literatur.....	9
3.3 Pembuatan Model.....	9
3.4 Simulasi	10
3.5 Perhitungan dan Analisa Data	10
3.6 Saran dan Kesimpulan	11
BAB 4 Analisa Data dan Pembahasan	13
4.1 Proses Simulasi	13

4.1.1 Pemodelan Flettner Rotor.....	13
4.1.2 Input Parameter	16
4.1.3 Hasil Simulasi	17
4.2 Perhitungan.....	19
4.3 Pengaruh Flettner Rotor Pada Kapal Kontainer 4000 DWT	25
BAB 5 Kesimpulan dan Saran	29
5.1 Kesimpulan.....	29
5.2 Saran.....	29
Daftar Pustaka.....	31
Lampiran.....	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Konsumsi Minyak Per Kapita (ton).....	1
Gambar 2.1 Kapal dengan Flettner Rotor.....	3
Gambar 2.2 Flettner Rotor.....	4
Gambar 2.3 Hubungan antara Angin dan Thrust Kapal	4
Gambar 2.4 Efek Magnus.....	5
Gambar 2.5 Efek Magnus dalam Sepak Bola.....	6
Gambar 4.1 Pemodelan Flettner Rotor	13
Gambar 4.2 Proses Substract.....	14
Gambar 4.3 Proses Pembuatan Domain	14
Gambar 4.4 Penentuan Boundary	15
Gambar 4.5 Proses Meshing.....	15
Gambar 4.6 Input Nilai Putaran Rotor	16
Gambar 4.7 Input Nilai Kecepatan Angin	16
Gambar 4.8 Aliran Angin di Sekitar Rotor	17
Gambar 4.9 Distribusi Tekanan Pada Sekitar Rotor.....	17
Gambar 4.10 Distribusi Kecepatan Fluida di Sekitar Rotor	18
Gambar 4.11 Arah Pergerakan Fluida di Sekitar Rotor.....	18
Gambar 4.12 Gambar dan Diagram Tekanan.....	20
Gambar 4.13 Proses Divide Pada Autocad.....	21
Gambar 4.14 Grafik Coefficient Lift Tiap Putaran Rotor	24
Gambar 4.15 Input Parameter di Maxsurf	25
Gambar 4.16 Set Speed di Maxsurf.....	26
Gambar 4.17 Hasil Pencarian Nilai Tahanan Kapal	26

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Nilai Distribusi Tekanan Tiap Titik Pada Variasi Flettner Rotor 100 rpm dengan Kecepatan Angin 10 Knot.....	21
Tabel 4.2 Nilai Force Lift dan Coefficient Lift	24
Tabel 4.3 Persentase Peranan Flettner Rotor Terhadap Kecepatan Kapal	27

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

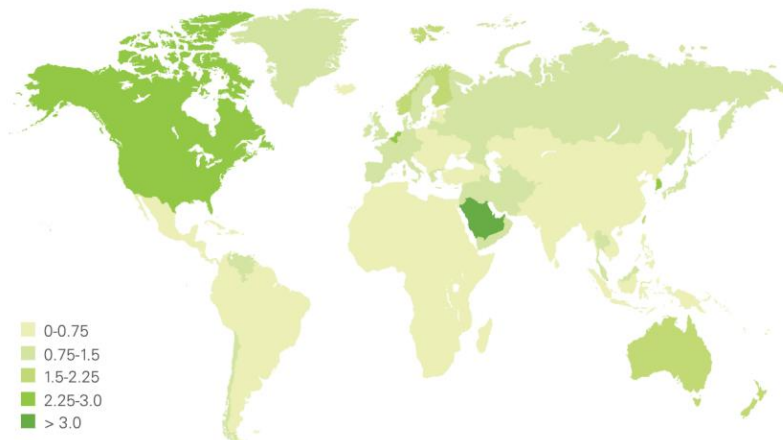
Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejak pertama kali ditemukannya mesin uap oleh James Watt, minyak bumi menjadi sumber energi yang paling banyak digunakan hingga saat ini. Menurut British Petroleum pada tahun 2015 penggunaan minyak bumi di dunia telah mencapai 1,9 juta barel per harinya, dimana Amerika Serikat menjadi negara konsumtif terbesar dibandingkan negara lainnya. Hal tersebut bisa saja terus meningkat mengingat peningkatan pemakaian kendaraan bermotor terus mengalami kenaikan yang signifikan. Sifat minyak bumi yang tidak dapat diperbaharui membuat cadangan minyak bumi diperkirakan akan habis dalam waktu 70 tahun dari sekarang.



Gambar 1.1. Konsumsi Minyak Per Kapita (ton)

Begitu pula halnya dengan kapal, bahan bakar minyak menjadi pilihan nomor satu sebagai sumber energi suatu kapal pada saat ini. Meskipun harga minyak saat ini berada di level terendah sejak 2014 lalu, namun energi alternatif terus dikembangkan sebagai antisipasi habisnya cadangan minyak bumi di dunia.

Jika melihat data diatas, maka energi alternatif harus segera dipersiapkan guna antisipasi habisnya cadangan minyak bumi. Salah satu energi alternatif yang telah diterapkan pada industri perkapalan adalah pemanfaatan angin sebagai sumber energi melalui media flettner rotor.

Flettner rotor adalah silinder yang berdiri *vertical* di badan kapal. Silinder-silinder tersebut berputar pada porosnya sehingga dapat memanfaatkan angin yang berhembus untuk dijadikan gaya dorong tambahan dengan menggunakan prinsip efek

magnus. Jika bahan bakar yang ada di kapal berfungsi sebagai sumber energi untuk menggerakkan *main engine* ataupun *auxiliary engine*, maka konsumsi bahan bakar dapat dikurangi akibat gaya dorong tambahan yang dihasilkan oleh flettner rotor. Meskipun teknologi yang telah berkembang saat ini belum memungkinkan suatu flettner rotor untuk menjadi sumber energi tunggal, namun setidaknya hal tersebut dapat mengurangi konsumsi bahan bakar serta emisi gas buangnya.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian di atas maka permasalahan utama yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh gaya dorong yang dihasilkan flettner rotor terhadap kecepatan kapal kontainer 4000 DWT ?
2. Bagaimana pengaruh RPM flettner rotor terhadap gaya dorong yang dihasilkan ?
3. Bagaimana pengaruh kecepatan angin terhadap gaya dorong yang dihasilkan ?

1.3 Batasan Masalah

1. Variasi putaran rotasi flettner rotor 0,100, 300, dan 500 rpm
2. Variasi kecepatan angin 5, 10, 15, dan 20 knot

1.4 Tujuan Skripsi

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui pengaruh gaya dorong flettner rotor terhadap kapal kontainer 4000 DWT.
2. Mengetahui pengaruh besarnya RPM flettner rotor terhadap gaya dorong yang dihasilkan
3. Mengetahui pengaruh besarnya kecepatan angin terhadap gaya dorong yang dihasilkan

1.5 Manfaat Skripsi

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Meningkatkan kecepatan kapal
2. Mengurangi emisi gas buang kapal
3. Sebagai referensi untuk pihak terkait

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Flettner Rotor

Flettner rotor adalah silinder yang berdiri tegak lurus dengan badan kapal dan berputar sesuai sumbunya menggunakan bantuan motor listrik. Flettner rotor ditemukan oleh penemu berkebangsaan Jerman bernama Anton Flettner pada awal tahun 1920. Anton telah mengembangkan konsep rotornya untuk membantu pergerakan kapal yang memanfaatkan efek magnus, dan membangun dua contoh yang berhasil meskipun pada saat itu idenya tidak diambil oleh yang lain-lainnya.

Efek magnus itu sendiri dapat kita temukan dalam kehidupan sehari-hari seperti pada beberapa cabang olahraga, dimana pergerakan bola yang dilempar dengan berputar pada sumbunya akan menghasilkan pergerakan yang berbeda jika dibandingkan dengan bola yang dilempar biasa. Saat ini beberapa pihak telah menghidupkan kembali konsep flettner rotor tersebut, dan menurut opini beberapa pihak, menawarkan cara yang paling efektif untuk memanfaatkan angin sebagai energi dorong tambahan.



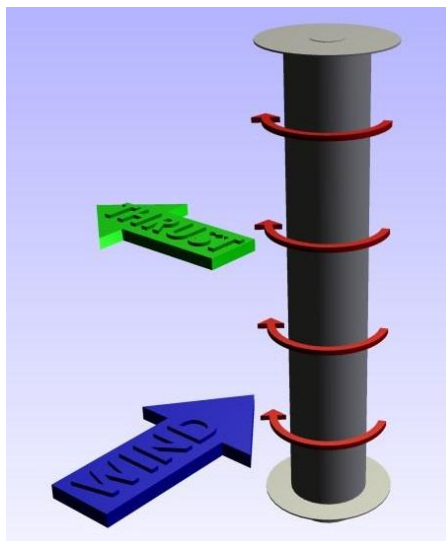
Gambar 2.1. Kapal dengan Flettner Rotor



Gambar 2.2. Flettner Rotor

Flettner rotor membutuhkan ruang di dek dan sangat mungkin untuk meningkatkan tinggi keseluruhan kapal. Selain itu, flettner rotor juga mempersulit instalasi kapal, tergantung pada tujuan operasional kapal tersebut. Jadi dalam penerapannya membutuhkan pertimbangan lebih lanjut ketika akan menggunakan flettner rotor.

Prinsip kerjanya yaitu rotor-rotor digerakan oleh motor listrik yang kemudian membuat rotor tersebut berputar sesuai sumbunya. Kemudian angin yang berhembus melewati rotor akan menimbulkan perbedaan tekanan antara kedua sisinya yang menyebabkan kapal mendapatkan gaya dorong tambahan, dimana gaya dorong tersebut akan timbul tegak lurus dengan arah datangnya angin. Hal tersebut sejalan dengan prinsip dari "*Magnus effect*", yang diambil dari nama seorang fisikawan Jerman Gustav Magnus.

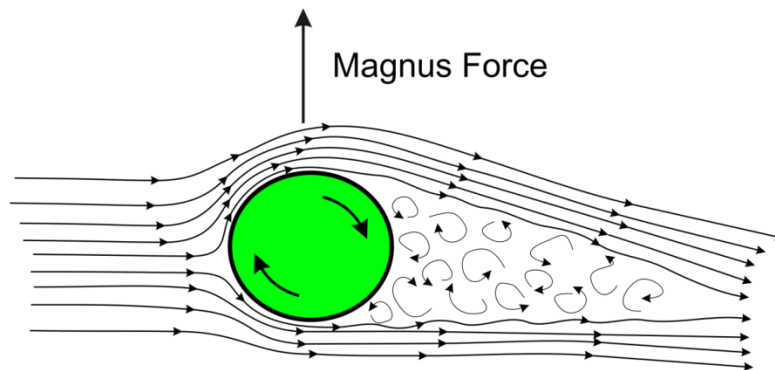


Gambar 2.3. Hubungan antara angin dan thrust kapal

Adapun belakangan ini sudah banyak ilmuwan yang mengembangkan kembali flettner rotor. Salah satu penerapan flettner rotor yang ada dilakukan pada kapal E-Ship 1 tahun 2010. Kapal tersebut berjenis ro-ro dengan bobot mati 12.800 dwt. Kapal milik perusahaan Enercon GmbH tersebut diperuntukan mengangkut komponen-komponen turbin angin.

2.2 Magnus Effect

Efek magnus adalah gaya yang bekerja pada benda berputar dalam aliran udara bergerak, yang berada tegak lurus dari aliran udara. Efek magnus dihasilkan ketika silinder yang berputar menghasilkan perbedaan tekanan fluida. Efek magnus dikemukakan oleh fisikawan Jerman bernama Heinrich Gustav Magnus pada tahun 1852.

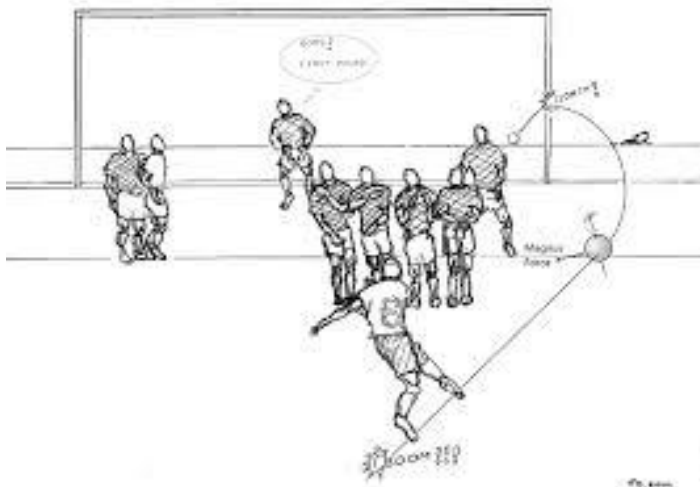


Gambar 2.4. Efek magnus

Hal tersebut terjadi pada benda berbentuk bola atau silinder yang bergerak dengan kecepatan tertentu dan dalam kondisi berputar pada sumbunya dengan kecepatan sudut tertentu. Jika kondisinya berbeda, seperti halnya bentuk benda yang tidak silinder dan bola atau benda tersebut tidak berputar pada sumbunya, maka efek magnus tidak akan tercipta. Yang terjadi hanyalah pergerakan benda tersebut akibat adanya gaya dorong yang diberikan tanpa tambahan gaya dorong dari efek magnus tersebut.

Adapun dalam kehidupan sehari-hari efek magnus dapat ditemukan pada kegiatan olahraga yang menggunakan bola sebagai objeknya. Misalnya pada sepak bola ketika dalam keadaan tendangan bebas, pemain bola dapat memanfaatkan angin di dalam stadion dengan cara menendang bola sedemikian rupa agar bola berputar pada

sumbunya, sehingga memicu timbulnya efek magnus yang dapat mengarahkan bola dengan sendirinya ke arah gawang.



Gambar 2.5. Efek magnus dalam sepak bola

Ide pembuatan flettner rotor tersebut terlintas pada tahun 1920 ketika Anton Flettner mencoba untuk menemukan cara yang lebih baik dalam meningkatkan layar pada kapal. Maka Anton Flettner menguji struktur logam yang kaku untuk mengoptimalkan aerodinamika berlayar. Sementara pengujian ini berlangsung ia mendapati sebuah studi kuantitatif dari efek magnus pada silinder berputar. Maka dari sini terciptalah flettner rotor yang memanfaatkan efek magnus.

2.3 Metode CFD

CFD adalah metode penghitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas, dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya. Dengan metode CFD aliran dan perpindahan panas dari berbagai fluida dapat disimulasikan pada bentuk/geometri yang rumit. Distribusi tekanan, kecepatan aliran, laju aliran massa, distribusi temperatur, dan pola aliran fluida yang terjadi dapat diketahui pada tiap titik yang terdapat dalam sistem yang dianalisa.

Metode CFD membantu engineer dalam melakukan simulasi suatu produk, sehingga tidak perlu dibutuhkan waktu dan biaya yang tinggi. Metode CFD memiliki tingkat keakuratan yang tinggi sehingga hasil yang didapat dari metode CFD tidak akan jauh berbeda jika diaplikasikan secara nyata.

Berikut tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam melakukan CFD :

1. Preprocessor

Pada tahap ini dilakukan pendefinisian domain dan *boundary condition* atau kondisi batas. Selain itu juga objek yang akan dianalisis juga dilakukan meshing atau pembagian jumlah grid.

2. Processor

Kemudian pada tahap *processor* yaitu penghitungan data input dengan persamaan yang terlibat.

3. Postprocessor

Dan terakhir tahap *postprocessor* yaitu hasil perhitungan akan diinterpretasikan ke dalam gambar ataupun grafik dengan pola warna tertentu sehingga mudah dibaca.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI

Metode yang digunakan pada skripsi ini adalah seperti yang ditunjukkan pada bagan 1. Adapun penjelasan dari bagan tersebut adalah sebagai berikut :

3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Identifikasi dan perumusan masalah yaitu melakukan kajian terhadap permasalahan yang ada. Mengkaji lebih dalam mengenai flettner rotor dan efek magnus. Serta merumuskan hasil akhir seperti apa yang akan didapat dari analisa yang akan dilakukan.

3.2 Studi Literatur

Tahap ini yaitu melakukan pencarian dan mempelajari tentang referensi terkait bidang penelitian, sehingga dapat dijadikan landasan dalam melakukan penelitian ini. Referensi dapat berupa jurnal, buku, dan artikel dengan sumber yang terpercaya.

Referensi tersebut dapat membahas tentang flettner rotor itu sendiri, suatu permasalahan yang dapat dipecahkan dengan magnus efek, atau bahkan suatu permasalahan yang dituntaskan menggunakan metode CFD. Hal-hal tersebut nantinya dapat diambil tiap-tiap garis besarnya dan dapat dihubungkan satu sama yang lainnya untuk dijadikan solusi dari analisa yang dilakukan.

3.3 Pembuatan Model

Selanjutnya dilakukan pembuatan model flettner rotor. Pembuatan model dapat dilakukan diluar software simulasi seperti Autocad, Solidwork, atau lain sebagainya. Namun untuk lebih mudahnya pembuatan model dapat dilakukan langsung di software yang akan dilakukan simulasi yaitu Numea Fine Open.

Pembuatan model pada software Numea Fine Open menitik beratkan pada posisi koordinat bidang yang akan dibuat nantinya. Jadi pada kasus flettner rotor ini pemodelan dilakukan dengan membuat dua model bidang. Pertama yaitu membuat bidang silinder, dimana silinder tersebut berguna sebagai model flettner rotor. Kemudian yang kedua yaitu bidang tempat mengalirnya fluida. Tidak ada batasan bidang fluida harus berbentuk apa, yang paling penting yaitu bidang fluida haruslah dapat mencakup seluruh aliran fluida yang mungkin terjadi di sekitar flettner rotor. Jadi pada penelitian ini bidang fluida berbentuk balok dengan dimensi 20 x 10 x 22 meter. Hal tersebut sudah cukup untuk menganalisa kemungkinan aliran fluida yang terjadi di sekitar flettner rotor.

3.4 Simulasi

Sebelum masuk pada tahap *running* atau simulasi model yang telah dibuat sebelumnya harus dilakukan *meshing* terlebih dahulu. *Meshing* itu sendiri adalah suatu proses penyatuan setiap segmen-segmen gambar sehingga seluruh bagian gambar dapat dilakukan simulasi CFD. Hal ini dikarenakan ketika simulasi CFD berlangsung, software melakukan perhitungan di setiap elemen-elemen. *Meshing* memiliki peranan penting sebelum melakukan simulasi, karena apabila *meshing* tersebut tidak mencakup seluruh bagian sampai bagian terkecil model, maka nilai yang akan diambil nantinya dapat meleset tidak sesuai dari yang seharusnya.

Kemudian setelah *meshing* selesai dilakukan maka dapat melanjutkan ke tahap *input parameter*. Adapun parameter yang dapat dimasukan mencakup jenis fluida yang akan digunakan pada simulasi, kecepatan fluida, temperatur fluida, hingga parameter yang memiliki pengaruh pada pengambilan hasil simulasi dalam bentuk animasi.

Proses *meshing* selesai dan *input parameter* selesai, maka dapat dilanjutkan dengan melakukan *running* atau simulasi. Adapun proses simulasi tidak selalu berhasil. Terkadang proses simulasi harus terhenti jika pada tahap *meshing* atau *input parameter* ada yang tidak sesuai. Jika hal tersebut terjadi maka yang harus dilakukan adalah mengulang proses *meshing* dan *input parameter* dengan mencari sendiri pada bagian apa yang membuat proses simulasi tidak dapat dilanjutkan.

Hal tersebut terjadi pada software Numeca Fine Open, lain halnya jika proses simulasi dilakukan pada software Ansys. Jika pada software Ansys proses simulasi juga dapat terhenti, namun software dengan sendirinya akan memberi tahu pengguna bagian apa yang salah sehingga tidak perlu mencari secara manual. Pada Numeca Fine Open pengguna harus mencari solusi sendiri untuk memperbaiki kesalahan simulasi.

Adapun simulasi dilakukan sebanyak 16 kali. Simulasi mencakup flettner rotor dengan kecepatan rotasi senilai 0, 100, 300, dan 500 rpm serta kecepatan angin 5, 10, 15, dan 20 knot. Simulasi dapat dilakukan dengan satu model flettner rotor saja, dengan variasi dilakukan pada tahap input parameter.

3.5 Perhitungan dan Analisa Data

Setelah proses simulasi sukses dilakukan maka hasil dari simulasi tersebut dilakukan analisa. Hasil terpenting dari simulasi yang dilakukan terletak pada distribusi tekanan yang ada pada sekitar flettner rotor. Karena berdasarkan nilai tekanan tersebut maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai gaya dorong tambahan yang terjadi pada flettner rotor.

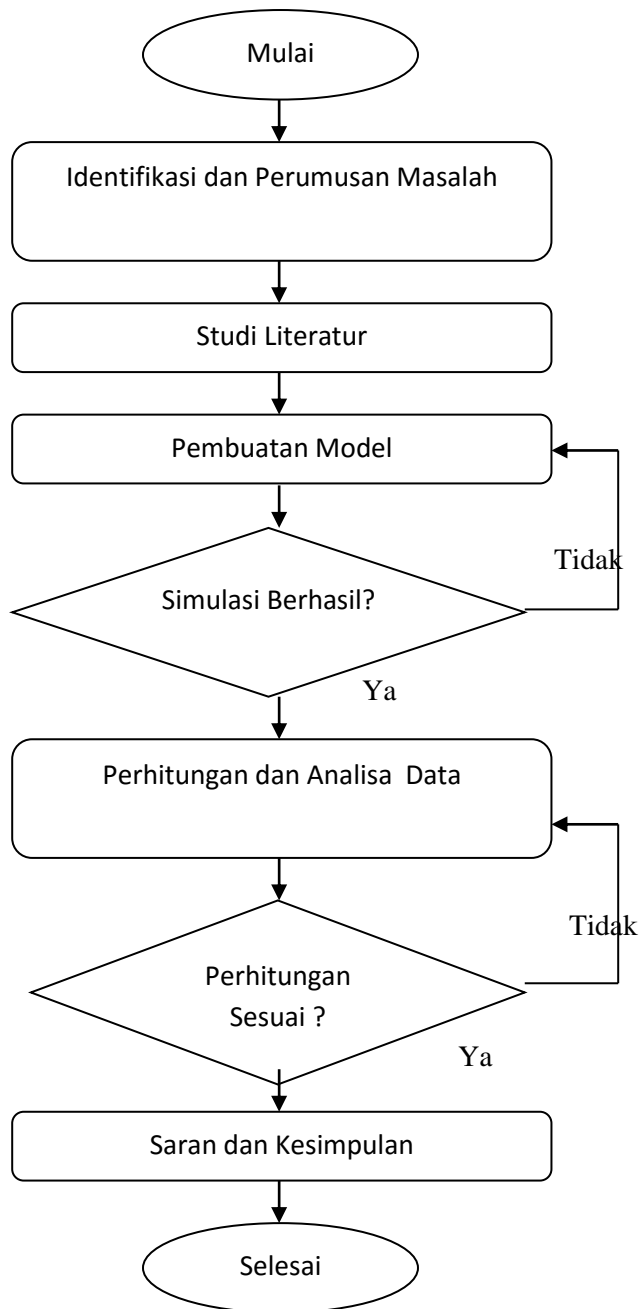
Hal pertama yang dilakukan adalah mengambil gambar distribusi tekanan yang terjadi pada flettner rotor. Kemudian diambil grafik perbedaan tekanannya. Karena gambar yang diambil berbentuk grafik, maka untuk mengetahui nilai pasti dari setiap titik di sekitar flettner rotor, gambar distribusi tekanan tersebut dipindahkan ke software pendukung lain dalam hal ini penulis menggunakan software Autocad untuk mencari nilai pasti setiap titik tekanan pada flettner rotor.

Setiap titik tekanan yang diambil nilainya tersebut kemudian dibuat tabel dan diambil nilai rata-rata dengan berdasarkan sisi flettner rotornya. Sisi flettner rotor terbagi menjadi dua yaitu sisi yang memiliki tekanan tinggi dan sisi dengan tekanan rendah. Setiap sisi diambil nilai rata-rata tekanannya kemudian nilai rata-rata tekanan tinggi dikurangi nilai rata-rata tekanan rendah. Dari perhitungan tersebut dapat diketahui nilai dan arah tekanan yang terjadi pada flettner rotor.

Nilai tekanan tersebut kemudian digunakan untuk mencari nilai gaya dorong yang terjadi pada flettner rotor. Lalu nilai gaya dorong untuk setiap variasi flettner rotor dapat diketahui nilainya dan perbedaannya satu sama lain. Untuk mempermudah maka dibuatlah tabel perbedaan gaya dorong untuk setiap variasinya.

3.6 Saran dan Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian diambil untuk menyelesaikan permasalahan yang telah disebut diatas. Sedangkan saran yaitu kendala yang terjadi ketika melakukan penelitian sehingga untuk ke depannya kendala tersebut dapat terlebih dahulu dicari solusinya agar penelitian berjalan lancar.



BAB 4

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

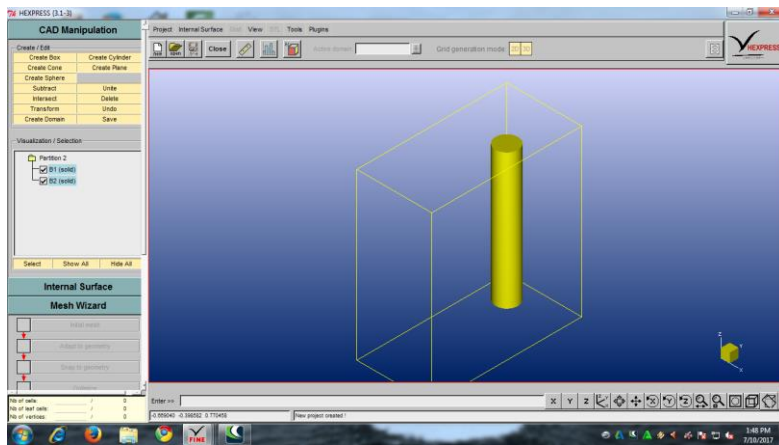
BAB 4

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Simulasi

4.1.1 Pemodelan Flettner Rotor

Pada proses pemodelan dilakukan di software Numea Fine Open untuk mempermudah agar tidak berganti software ketika akan melakukan proses simulasi.



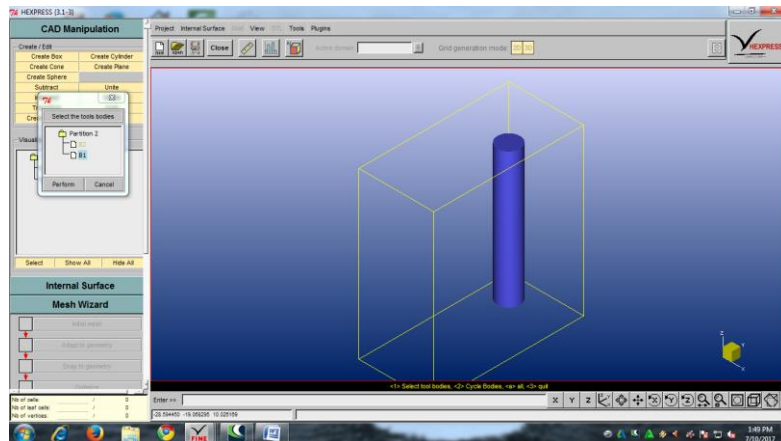
Gambar 4.1. Pemodelan Flettner Rotor

Pemodelan dilakukan dengan membuat dua bidang utama yaitu, pertama bidang silinder, dimana silinder tersebut akan menjadi flettner rotor yang kemudian dicari nilai gayanya. Lalu kedua adalah bidang balok, bidang tersebut berguna sebagai media fluidanya atau tempat mengalirnya fluida.

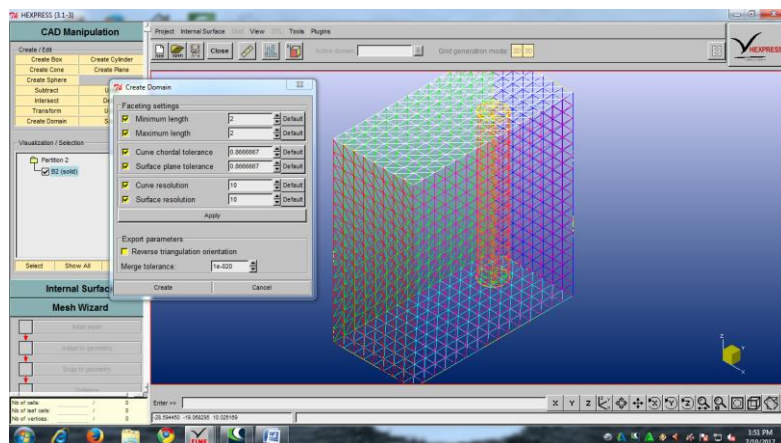
Karena pembuatan model pada software Numea Fine Open menggunakan metode koordinat maka sebelumnya harus direncanakan koordinat pada bidang yang dilakukan pemodelan. Dalam hal ini koordinat letak flettner rotor dengan poros pada titik x, y, z yaitu $0, 0, 0$. Sedangkan koordinat pada ujung kiri atas balok yaitu $-5, -15, 20$ dan koordinat ujung kanan bawah yaitu $5, 5, -2$.

Koordinat diatas direncanakan sedemikian rupa karena direncanakan fluida akan mengalir dari koordinat $+Y$ menuju $-Y$, jadi letak flettner rotor dibuat lebih dekat dengan arah datangnya angin untukantisipasi agar pergerakan fluida tidak berubah ketika mengenai flettner rotor. Sedangkan bidang ke arah $-Y$ dibuat lebih luas karena nantinya area tersebut akan diteliti pergerakan fluida yang terjadi setelah mengenai flettner rotor.

Langkah selanjutnya yaitu melakukan *subtract*. Langkah ini berguna untuk menentukan bidang yang akan dialiri fluida. Jadi silinder yang sebelumnya dibuat akan dianggap sebuah solid dan fluida tidak akan mengalir didalamnya. Sehingga bidang yang sudah dilakukan *subtract* tersebut dapat dibuat sebuah *domain*.



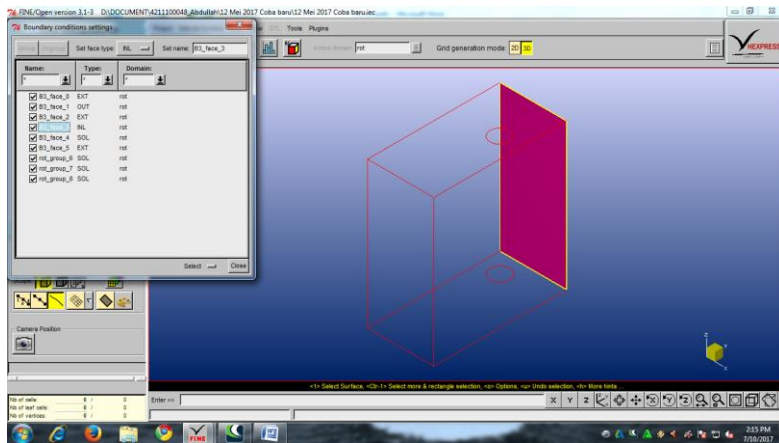
Gambar 4.2. Proses Subtract



Gambar 4.3. Proses Pembuatan Domain

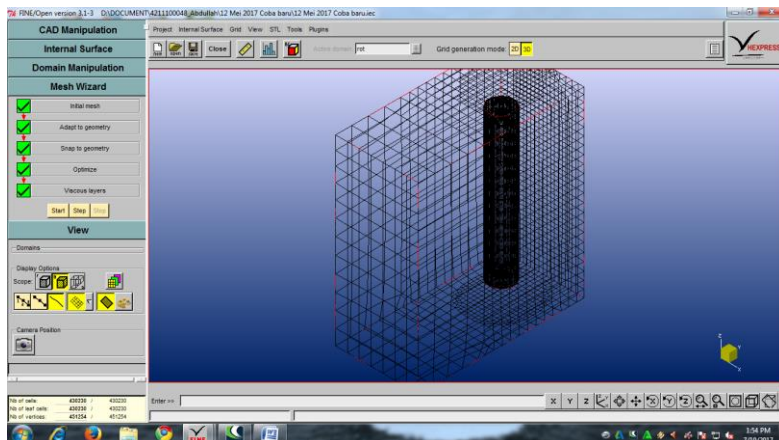
Kemudian *domain* yang telah dibuat tersebut ditentukan *boundary* atau batas yaitu menentukan letak *input* dan *output* fluida, serta solid atau tidaknya *domain* tersebut. Karena dalam perencanaannya angin akan datang dari sumbu +Y menuju -Y maka ditentukan letak *input* fluida yaitu sebelah kanan flettner rotor seperti pada gambar 4.4 dibawah. Sedangkan letak *output* yaitu terletak di seberang input atau sebelah kiri flettner rotor.

Karena simulasi direncanakan dilakukan pada udara bebas, maka bidang pada kedua sisi depan dan belakang serta bagian atas flettner rotor ditentukan sebagai eksternal. Jika ketiga bidang tersebut tetap pada solid maka hasil akan menunjukkan bahwa flettner rotor berada pada ruangan tertutup dengan batasan mengelilingi flettner rotor tersebut.



Gambar 4.4. Penentuan Boundary

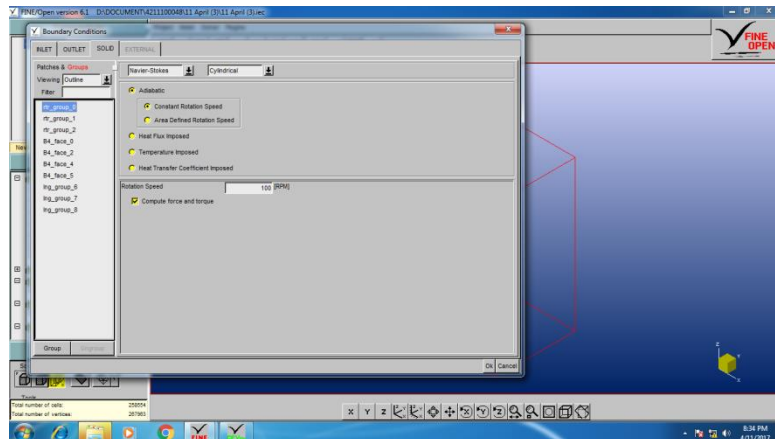
Jika hal tersebut telah dilakukan maka bisa dilanjutkan dengan proses *meshing*. Karena bentuk flettner rotor yang tidak rumit atau hanya sebuah silinder, maka penentuan kerapatan meshing tidak perlu terlalu tinggi. Karena jika dibuat kerapatan tinggi maka akibatnya proses running atau simulasi memakan waktu lebih lama dengan hasil yang tidak jauh berbeda jika dibuat dengan tingkat kerapatan sederhana.



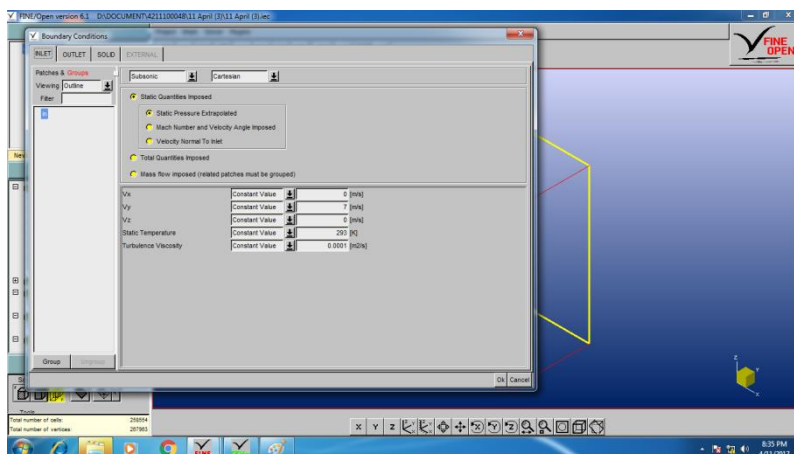
Gambar 4.5. Proses Meshing

4.1.2 Input Parameter

Pada tahapan ini variasi RPM flettner rotor dan kecepatan angin dapat dilakukan. Selain itu, nilai lainnya juga dapat dimasukan antara lain mencakup jenis fluida, jenis aliran, dan lain sebagainya. Pada simulasi ini angin yang berhembus diasumsikan berhembus pada 90 derajat dari arah gerak kapal.



Gambar 4.6. Input Nilai Putaran Rotor



Gambar 4.7. Input Nilai Kecepatan Angin

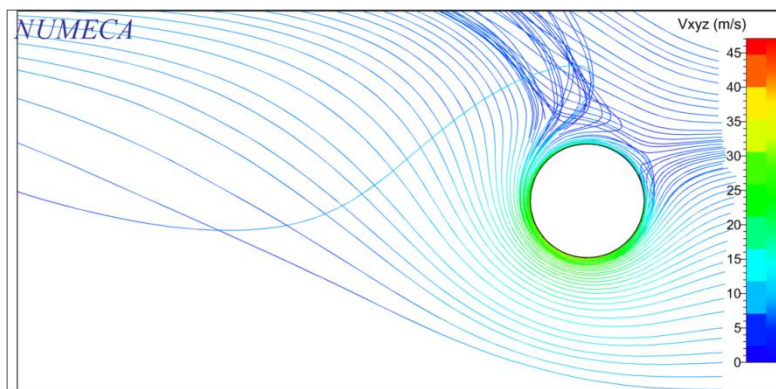
Setelah semua tahap diatas dilakukan, maka selanjutnya dapat dilakukan proses *running*. Proses *running* dilakukan sebanyak 12 kali termasuk *running* yang mengkondisikan dimana rotor tidak berputar atau RPM 0.



Gambar 4.8. Proses Simulasi

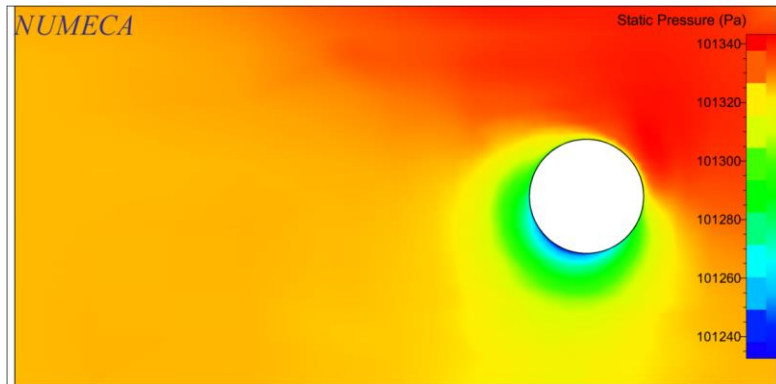
4.3. Hasil Simulasi

Ketika proses running telah sukses dilakukan, maka untuk melihat hasil *running* dapat dilakukan pada menu Start CFView. Berikut beberapa hasil simulasi yang diambil dari simulasi flettner rotor dengan putaran rotor 300 rpm dan kecepatan angin 5 knot.



Gambar 4.8. Aliran Angin di Sekitar Rotor

Untuk mendapatkan hasil seperti pada gambar 4.8 pada CFView, maka pada pilihan dialog quantities dipilih menu Vxyz. Adapun Vxyz tersebut merupakan proyeksi dari bagaimana aliran fluida bergerak. Sementara kecepatan aliran tersebut terlihat pada warna di garis aliran tersebut.



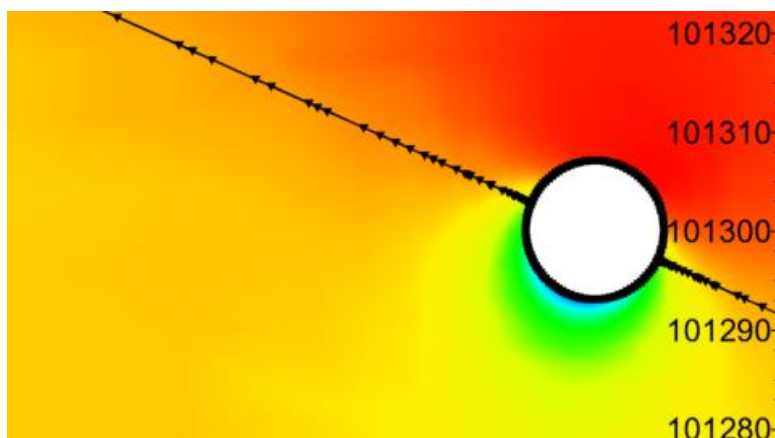
Gambar 4.9. Distribusi Tekanan Pada Sekitar Rotor

Sementara itu untuk melihat distribusi tekanan yang terjadi di sekitar flettner rotor dapat memilih menu *static pressure* pada kotak dialog *quantities*. Pada gambar 4.9 terlihat bahwa terjadi perbedaan tekanan yang besar antara kedua sisi flettner rotor. Dimana warna kemerah-merahan menandakan tekanan tinggi sementara warna cenderung biru adalah sebaliknya.

Dari keseluruhan simulasi yang dilakukan distribusi tekanan yang terjadi cenderung sama. Karena pada keseluruhan simulasi efek magnus bekerja. Oleh karena itu untuk lebih mengetahui perbedaan tekanan yang terjadi satu dengan yang lainnya, maka legend untuk seluruh hasil simulasi disamakan yaitu berdasarkan perbedaan tekanan yang tertinggi.

Jika dilakukan analisa, maka hasil distribusi tekanan antara simulasi satu dengan lainnya terdapat perbedaan posisi antara tekanan rendah dengan tinggi. Hal tersebut memberi pengaruh terhadap arah gaya dorong yang dihasilkan flettner rotor. Karena pada teori dasarnya flettner rotor akan memberi gaya dorong akibat terjadinya perbedaan tekanan antara dua sisi flettner rotor. Oleh karena itu setiap variasi flettner rotor menghasilkan gaya dorong yang optimal pada sudut datangnya angin yang berbeda-beda.

Misalnya pada flettner rotor dengan putaran 300 rpm dan kecepatan angin 5 knot. Jika kedua sisi flettner rotor dibagi dua berdasarkan tekanan tinggi dan rendah, maka garis pembatas antara dua kondisi tekanan tersebut akan memberi sudut senilai 60° dari arah datangnya angin.

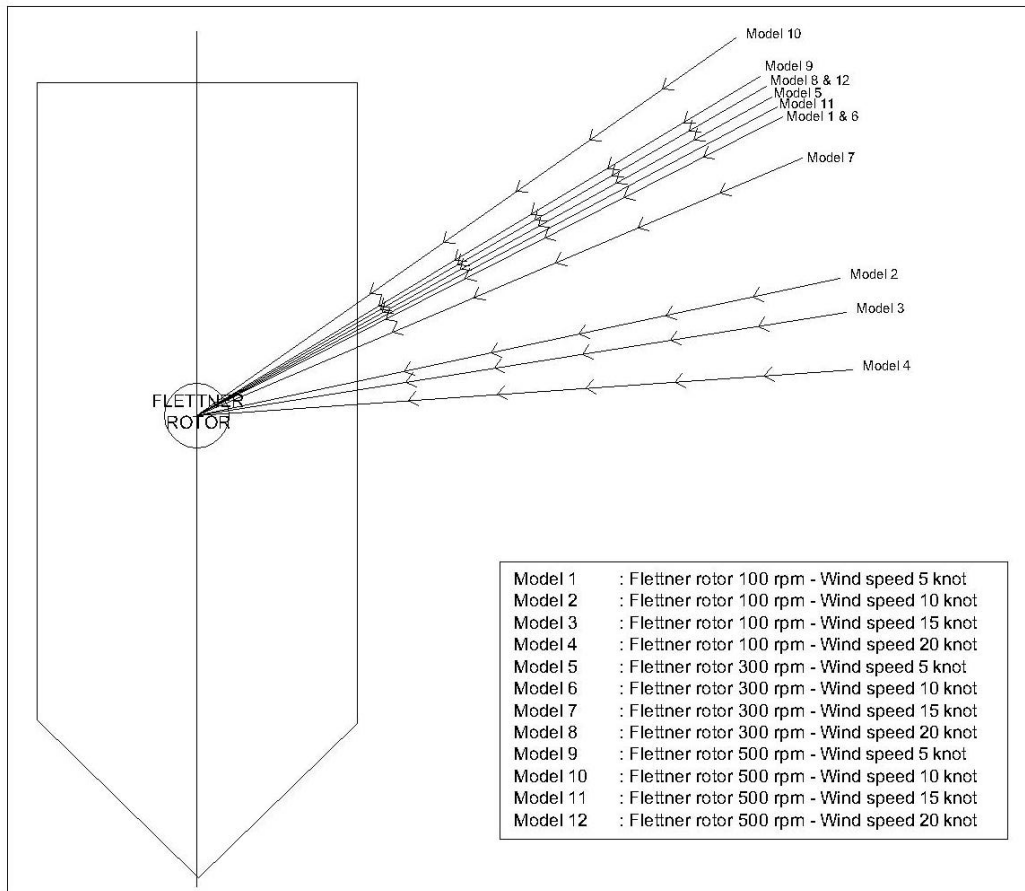


Gambar 4.10. Perbedaan antara tekanan tinggi dan rendah pada flettner rotor

Setiap hasil simulasi dilakukan analisa pada arah perbedaan tekanan tinggi dan rendahnya, sehingga dapat diketahui dengan variasi putaran rotor dan kecepatan angin yang telah ditentukan dapat memberi pengaruh yang optimal berdasarkan sudut arah datangnya angin.

Tabel 1. Sudut Arah Datangnya Angin

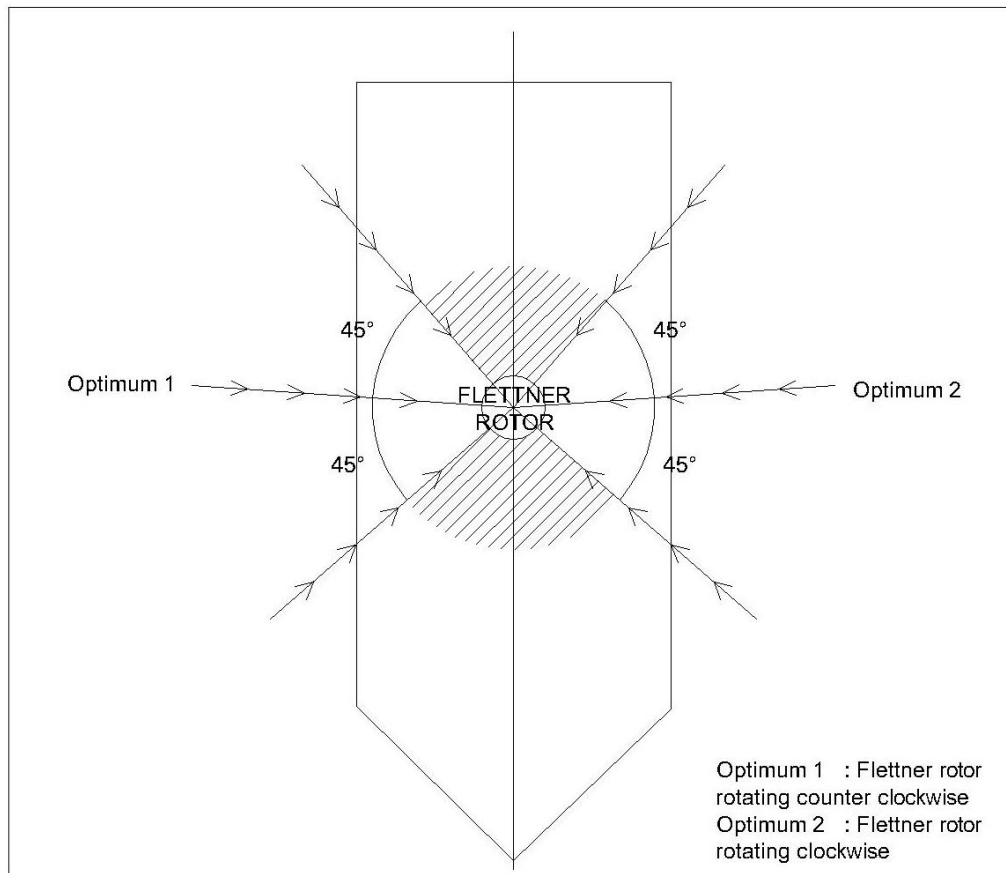
No.	Putaran Rotor (rpm)	Kecepatan Angin (m/s)	Sudut Angin
1	100	5	63 ⁰
2	100	10	78 ⁰
3	100	15	81 ⁰
4	100	20	86 ⁰
5	300	5	60 ⁰
6	300	10	63 ⁰
7	300	15	67 ⁰
8	300	20	61 ⁰
9	500	5	59 ⁰
10	500	10	55 ⁰
11	500	15	62 ⁰
12	500	20	61 ⁰



Gambar 4.11. Arah Datangnya Angin

Gambar diatas menunjukkan untuk setiap variasi flettner rotor memiliki nilai sudut antara arah gerak kapal dengan arah datangnya angin, sehingga dapat diketahui untuk mengoptimalkan flettner rotor membutuhkan sudut angin seperti diatas.

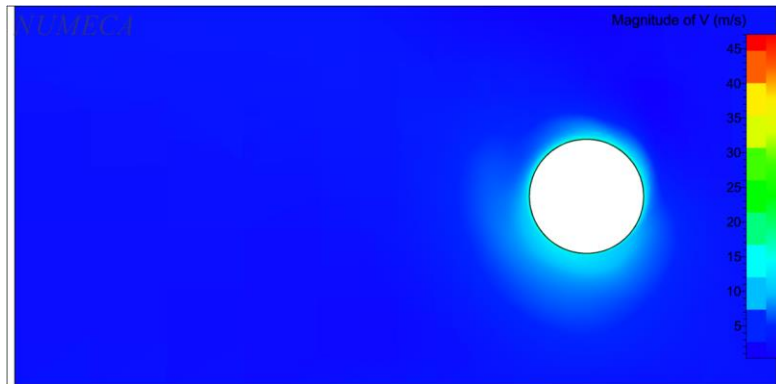
Jika pada flettner rotor terdapat sudut optimal untuk arah datangnya angin, maka terdapat pula sudut datangnya angin yang membuat flettner rotor berubah tidak lagi membantu memberi gaya dorong pada kapal tapi memberi tahanan tambahan. Jika dalam kondisi tersebut hal yang dapat dilakukan adalah tidak memutar flettner rotor atau 0 rpm. Dengan nilai tahanan adalah sesuai pada hasil simulasi pada flettner rotor tidak berputar. Kondisi tersebut lebih baik, karena jika tetap memutar flettner rotor stabilitas kapal akan berkurang disebabkan arah gaya dorong yang dihasilkan tidak sesuai dengan arah laju kapal.



Gambar 4.12. Sudut arah datangnya angin yang dapat diterima

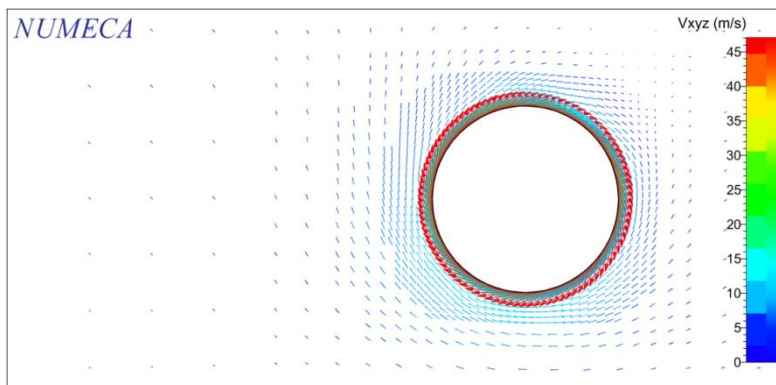
Dicontohkan pada gambar diatas yaitu flettner rotor dengan putaran 100 rpm dan kecepatan angin 20 knot, dijelaskan bahwa jika flettner rotor berputar berlawanan arah jarum jam akan mendapatkan nilai gaya dorong yang optimal dengan sudut arah datangnya angin pada sudut optimum 1. Begitupun sebaliknya jika flettner rotor berputar searah jarum jam pada optimum 2.

Toleransi arah datangnya angin adalah 45° keatas dan kebawah dari sudut optimum, dengan catatan perhitungan nilai gaya dorongnya diberi nilai $\cos \theta$ dari arah gerak kapal. Untuk angin yang datang dari zona yang diarsir, adalah kondisi dimana flettner rotor harus berhenti berputar karena gaya dorong yang dihasilkan flettner rotor tidak akan membantu laju kapal melainkan mengurangi stabilitas kapal.



Gambar 4.13. Distribusi kecepatan fluida di sekitar rotor

Berdasarkan hukum Bernoulli nilai tekanan akan berbanding terbalik dengan nilai kecepatan. Hukum tersebut terbukti dari gambar distribusi kecepatan fluida pada gambar 4.10. Jika dibandingkan dengan gambar 4.9 maka terlihat bahwa zona yang memiliki tekanan tinggi akan memiliki kecepatan fluida rendah pada gambar distribusi kecepatan fluida.



Gambar 4.14. Arah Pergerakan Fluida di Sekitar Rotor

Arah pergerakan fluida dapat dilihat pada pilihan quantities V_{xyz} dengan pilihan menu *vectors on a section*. Berdasarkan gambar 4.11 maka dapat dilihat bahwa arah datangnya fluida yaitu dari sebelah kanan atau dari sumbu $+y$ menuju $-Y$. Sedangkan arah putaran rotor dapat dilihat dari arah panah berwarna merah yaitu searah dengan jarum jam.

4.2 Perhitungan

Proses perhitungan dilakukan dengan menyesuaikan pada rumus yang ada, karena berdasarkan hasil simulasi nilai Lift tidak bisa langsung didapat. Berikut rumus yang digunakan untuk mencari nilai Lift pada flettner rotor.

$$l = \frac{1}{2} \rho A v_a^2 C_L$$

Dimana :

l : *Lift*

A : *Vertical cross sectional area*

Vertical cross sectional area atau dapat disebut luas penampang vertikal dari flettner rotor. Untuk mendapatkan nilai A yaitu tinggi rotor dikalikan diameter rotor.

C_L : *Lift coefficient*

Coefficient lift yaitu parameter tanpa dimensi yang berperan dalam menentukan besarnya gaya angkat.

ρ : *Density of air*

Merupakan massa jenis udara yang tidak dipengaruhi oleh bentuk dan volume.

V_a : *apparent wind speed*

Apparent wind merupakan angin yang timbul akibat angin yang berhembus mengenai objek yang bergerak.

Untuk mengetahui hasil akhir koefisien *lift*, maka nilai gaya *lift* dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Fl = P \times A$$

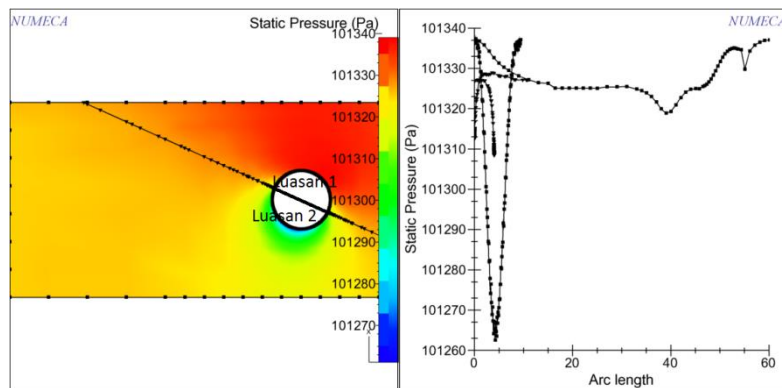
Dimana :

P : Tekanan pada flettner rotor

A : Luasan flettner rotor

Sebuah flettner rotor dapat memberi nilai *lift* atau gaya dorong tambahan akibat terjadinya perbedaan tekanan pada kedua sisi flettner tersebut. Oleh karena itu dari hasil

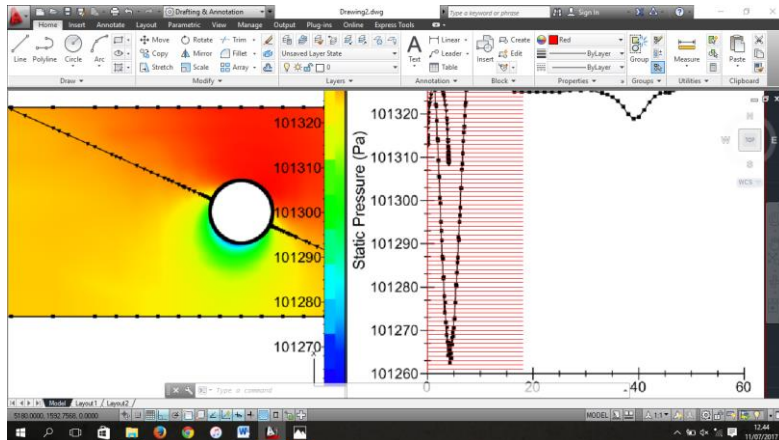
simulasi pada gambar perbedaan tekanan dilakukan perhitungan nilai tekanan pada kedua sisi flettner rotor, yang kemudian dapat diambil nilai gayanya.



Gambar 4.15. Gambar dan Diagram Tekanan

Sebuah flettner rotor dibagi menjadi dua bagian, dimana bagian 1 merupakan sisi yang memiliki nilai tekanan lebih tinggi, sedangkan bagian 2 merupakan sisi yang memiliki nilai tekanan lebih rendah. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menganalisa hasil simulasi. Sisi yang memiliki tekanan lebih tinggi akan memiliki warna lebih ke merah, sedangkan untuk tekanan rendah memiliki warna lebih ke hijau atau biru seperti yang ada pada gambar 4.15.

Setelah menentukan kedua sisi flettner, maka kemudian dicari nilai tekanan yang terjadi pada kedua bagian tersebut. Titik-titik yang mengitari rotor dapat diketahui nilai tekanannya melalui diagram yang ada di sebelahnya. Untuk mengetahui nilai pasti tekanannya, maka dapat dihitung dengan bantuan divide pada Autocad seperti gambar 4.16. berikut ini.



Gambar 4.16. Proses *Divide* pada Autocad

Semua nilai yang telah diambil tersebut kemudian diambil nilai rata-rata berdasarkan pembaguan luasannya. Seperti tabel berikut ini.

Tabel 4.2. Nilai Distribusi Tekanan Tiap Titik Pada Variasi Flettner Rotor 100 rpm dengan Kecepatan Angin 10 knot

Tekanan Pada Luasan 1 (N)		Tekanan Pada Luasan 2 (N)	
No	Nilai	No	Nilai
1	101330	1	101323
2	101337	2	101318
3	101341	3	101308
4	101346	4	101301
5	101352	5	101294
6	101353	6	101283
7	101357	7	101278
8	101358	8	101266
9	101359	9	101259
10	101360	10	101251
11	101360	11	101240
12	101360	12	101236
13	101360	13	101225
14	101360	14	101218
15	101360	15	101211
16	101360	16	101200
17	101360	17	101190

18	101360	18	101184
19	101360	19	101180
20	101359	20	101175
21	101358	21	101174
22	101357	22	101168
23	101356	23	101165
24	101355	24	101165
25	101354	25	101165
26	101353	26	101165
27	101352	27	101165
28	101353	28	101165
29	101350	29	101165
30	101349	30	101167
31	101348	31	101172
32	101347	32	101175
33	101346	33	101185
34	101345	34	101193
35	101344	35	101198
36	101343	36	101202
37	101344	37	101214
38	101345	38	101218
39	101346	39	101228
40	101347	40	101233
41	101346	41	101241
42	101345	42	101250
43	101344	43	101257
44	101343	44	101273
45	101342	45	101283
46	101341	46	101290
47	101340	47	101297
48	101337	48	101307
49	101332	49	101312
50	101326	50	101321

Jumlah
Rata-
rata

5067480

101349,6

5061453

101229,06

Nilai rata-rata tersebut akan dijadikan nilai tekanan dan dikalikan dengan nilai luasan yang kemudian dapat diketahui nilai gaya pada kedua sisi rotor. Adapun nilai luasannya yaitu luasan flettner rotor dibagi dua.

$$A = \frac{1}{2} \times \rho \times d \times t$$

$$A = \frac{1}{2} \times 3,14 \times 3 \times 18$$

$$A = 84.78 \text{ m}^2$$

Untuk nilai A_1 dan A_2 adalah sama karena pembagian luasan hanya berdasarkan dibagi dua. Berikut perhitungan untuk nilai gaya *lift*-nya.

$$Fl_1 = P_1 \times A_1$$

$$Fl_1 = 101349,6 \times 84,78$$

$$Fl_1 = 8592419,088 \text{ N}$$

$$Fl_2 = P_2 \times A_2$$

$$Fl_2 = 101229,06 \times 84,78$$

$$Fl_2 = 8582199,707 \text{ N}$$

Setelah kedua sisi rotor ditemukan nilai gayanya, maka kemudian kedua nilai tersebut dimasukan ke dalam rumus berikut.

$$Fl = Fl_1 - Fl_2$$

$$Fl = 8592419,088 - 8582199,707$$

$$Fl = 10219,38 \text{ N}$$

Maka didapatkan nilai *force lift* atau gaya dorong tambahan untuk kapal. Dengan catatan nilai gaya dorong tersebut merupakan gaya dorong yang dihasilkan flettner rotor ketika angin berhembus pada sudut optimum, atau untuk flettner rotor 100 rpm dengan kecepatan angin 10 knot sudut arah datangnya angin adalah 78° dari arah gerak kapal.

Kemudian nilai *Force Lift* diatas digunakan untuk mencari nilai *Coefficient Lift* dengan rumus yang telah disebut sebelumnya yaitu sebagai berikut.

$$l = \frac{1}{2} \rho A v_a^2 C_L$$

$$C_L = \frac{Fl}{0,5 \times \rho \times A \times Va^2}$$

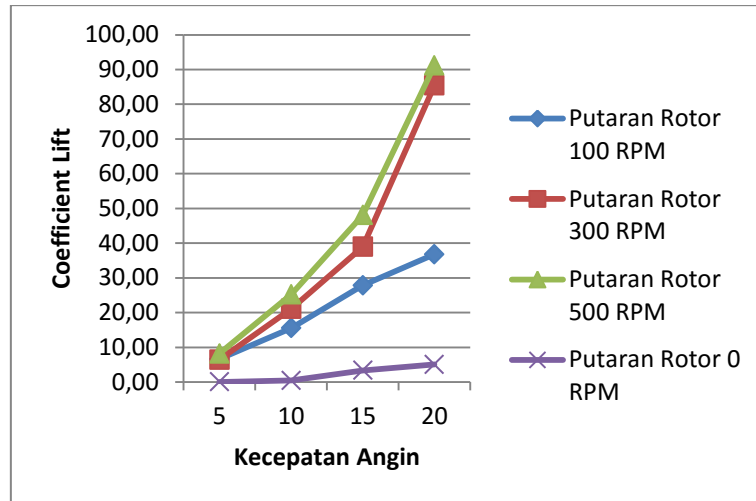
$$C_L = \frac{10219,38}{0,5 \times 3,14 \times 169,56 \times 5,14^2}$$

$$C_L = 6,5967$$

Berikut hasil nilai *coefficient lift* dalam bentuk tabel dan grafik dengan besar sudut arah angin pada titik optimum untuk setiap variasinya.

Tabel 4.3. Nilai *Force Lift* dan *Coefficient Lift*

No.	Putaran Rotor (rpm)	Kecepatan Angin (knot)	Force Lift (N)	Coefficient Lift
1	0	5	6,78	0,01
2	0	10	283,17	0,43
3	0	15	2187,32	3,32
4	0	20	3318,29	5,04
5	100	5	4340,74	6,60
6	100	10	10219,38	15,53
7	100	15	18317,57	27,84
8	100	20	24196,21	36,77
9	300	5	4227,13	6,42
10	300	10	13844,57	21,04
11	300	15	25635,78	38,96
12	300	20	56190,49	85,39
13	500	5	5375,05	8,17
14	500	10	16591,45	25,21
15	500	15	31621,24	48,06
16	500	20	59968,28	91,13



Gambar 4.17. Grafik Coefficient Lift Tiap Putaran Rotor

Semua nilai yang dimasukkan ke dalam tabel dan grafik merupakan hasil dari flettner rotor ketika aliran angin berada pada sudut optimum. Namun pada kenyataannya di tengah laut angin yang berhembus tidak selalu pada sudut optimum dari arah gerak kapal. Sehingga untuk mencari nilai gaya dorong dengan sudut tertentu adalah menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Fl = P \times A \times \cos \alpha$$

Dimana $\cos \alpha$ merupakan besar sudut antara arah gerak kapal dengan arah datangnya angin. Besar gaya dorong yang dihasilkan tidak akan sebesar ketika aliran angin searah dengan sudut optimumnya terhadap gerak kapal, namun masih tetap dapat membantu kapal melaju.

4.3 Pengaruh Flettner Rotor Pada Kapal Kontainer 4000 DWT

Model kapal kontainer 4000 DWT yang akan dijadikan perbandingan adalah “Sakura”. Dimana kapal kontainer tersebut memiliki dimensi sebagai berikut.

Lwl : 103,9 m

Beam : 17,8 m

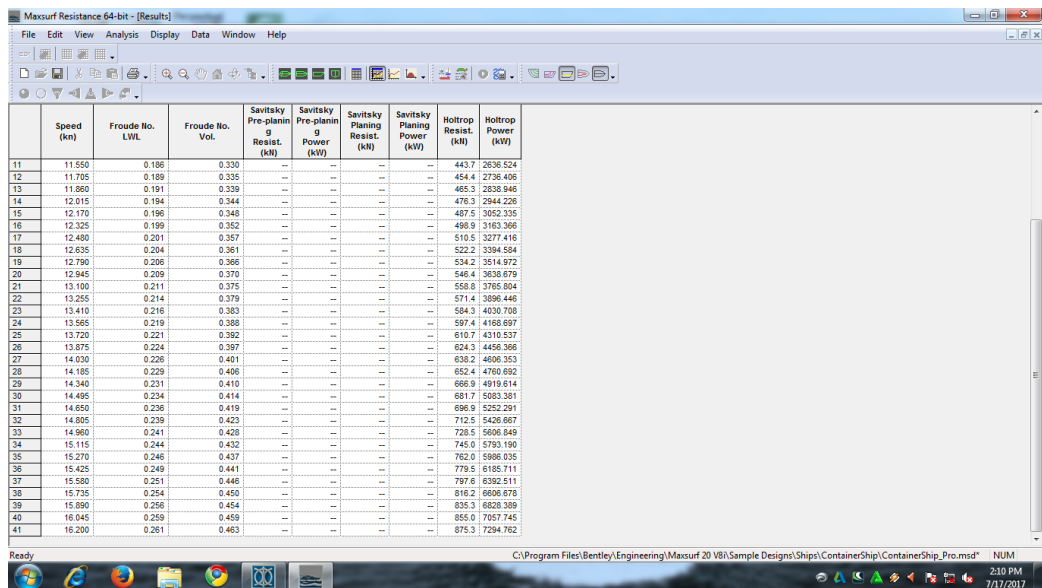
Draft : 8,5 m

Speed : 16,2 knot

Sebelum mencari pengaruh gaya dorong yang dihasilkan flettner rotor pada kapal kontainer tersebut, maka terlebih dulu dicari nilai tahanan pada kapal Sakura dengan bantuan software Maxsurf. Untuk memudahkan perhitungan tahanan maka diambil asumsi nilai *coefficient block* senilai 0,7.

Langkah pertama yang dilakukan pada software maxsurf adalah memilih kotak dialog *Data Window* untuk memasukan parameter dimensi kapal. Kemudian setelah semua parameter dimasukan kemudian masukan nilai kecepatan kapal pada kotak dialog *Set Speeds*. Kecepatan kapal dimasukan dengan nilai terendah pada 10 knot sedangkan nilai tertinggi pada 16,2 knot.

Selanjutnya menentukan metode apa yang akan dilakukan untuk mencari nilai tahanan, dalam hal ini penulis memilih metode Holtrop. Setelah semua dilakukan barulah dapat dilakukan running atau solve pada kotak dialog. Berikut hasil akhir untuk nilai tahanan kapal.



	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Savitsky Pre-planin g Resist. (kN)	Savitsky Pre-planin g Power (kW)	Savitsky Planing Resist. (kN)	Savitsky Planing Power (kW)	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
11	11.550	0.186	0.330	--	--	--	--	443.7	2636.524
12	11.705	0.189	0.335	--	--	--	--	454.4	2736.406
13	11.860	0.191	0.339	--	--	--	--	465.3	2838.846
14	12.015	0.194	0.344	--	--	--	--	476.3	2944.226
15	12.170	0.196	0.348	--	--	--	--	487.5	3052.335
16	12.325	0.199	0.352	--	--	--	--	498.9	3163.366
17	12.480	0.201	0.357	--	--	--	--	510.5	3277.416
18	12.635	0.204	0.361	--	--	--	--	522.2	3394.584
19	12.790	0.206	0.366	--	--	--	--	534.2	3514.972
20	12.945	0.209	0.370	--	--	--	--	546.4	3638.679
21	13.100	0.211	0.375	--	--	--	--	558.8	3765.604
22	13.255	0.214	0.379	--	--	--	--	571.4	3896.446
23	13.410	0.216	0.383	--	--	--	--	584.3	4030.708
24	13.565	0.219	0.388	--	--	--	--	597.4	4168.697
25	13.720	0.221	0.392	--	--	--	--	610.7	4310.537
26	13.875	0.224	0.397	--	--	--	--	624.3	4456.366
27	14.030	0.226	0.401	--	--	--	--	638.2	4606.353
28	14.185	0.229	0.406	--	--	--	--	652.4	4760.692
29	14.340	0.231	0.410	--	--	--	--	666.9	4919.614
30	14.495	0.234	0.414	--	--	--	--	681.7	5083.381
31	14.650	0.236	0.419	--	--	--	--	696.9	5252.291
32	14.805	0.239	0.423	--	--	--	--	712.5	5426.667
33	14.960	0.241	0.428	--	--	--	--	728.5	5606.649
34	15.115	0.244	0.432	--	--	--	--	745.0	5793.190
35	15.270	0.246	0.437	--	--	--	--	762.0	5986.035
36	15.425	0.249	0.441	--	--	--	--	779.5	6185.711
37	15.580	0.251	0.446	--	--	--	--	797.6	6392.511
38	15.735	0.254	0.450	--	--	--	--	816.2	6606.678
39	15.890	0.256	0.454	--	--	--	--	835.3	6828.389
40	16.045	0.259	0.459	--	--	--	--	855.0	7057.745
41	16.200	0.261	0.463	--	--	--	--	875.3	7294.762

Gambar 4.18. Hasil Pencarian Nilai Tahanan Kapal

Berdasarkan hasil pada gambar 4.15 diketahui bahwa tahanan kapal pada kecepatan 16,2 knot adalah senilai 875, 3 kN atau sama dengan 875300 N. Kemudian hasil gaya *lift* yang telah ditemukan sebelumnya dapat dihitung persentase kontribusinya terhadap nilai tahanan kapal. Berikut contoh perhitungan untuk variasi flettner rotor dengan 100 rpm dan kecepatan angin 10 knot.

$$\text{Persentase F - T} = \frac{\text{Force Lift}}{\text{Resistance of Ship}} \times 100\%$$

$$= \frac{10219,38}{875300} \times 100\%$$

$$= 1,17 \%$$

Tabel 4.4. Persentase peranan flettner rotor ketika aliran angin berada pada sudut optimum terhadap kecepatan kapal

No.	Coefficient Lift	Speed of Vessel					
		10 knot	11,08 knot	12,17 knot	13,1 knot	14,18 knot	16,2 knot
1	6,6	1,262%	1,052%	0,890%	0,777%	0,665%	0,496%
2	15,53	2,972%	2,477%	2,096%	1,829%	1,566%	1,168%
3	27,84	5,326%	4,441%	3,757%	3,278%	2,808%	2,093%
4	36,77	7,036%	5,866%	4,963%	4,330%	3,709%	2,764%
5	6,42	1,229%	1,025%	0,867%	0,756%	0,648%	0,483%
6	21,04	4,026%	3,356%	2,840%	2,478%	2,122%	1,582%
7	38,96	7,454%	6,215%	5,259%	4,588%	3,929%	2,929%
8	85,39	16,339%	13,622%	11,526%	10,056%	8,613%	6,420%
9	8,17	1,563%	1,303%	1,103%	0,962%	0,824%	0,614%
10	25,21	4,824%	4,022%	3,403%	2,969%	2,543%	1,896%
11	48,06	9,195%	7,666%	6,486%	5,659%	4,847%	3,613%
12	91,13	17,438%	14,538%	12,301%	10,732%	9,192%	6,851%

Tabel diatas menunjukkan persentase kontribusi gaya dorong flettner rotor terhadap kapal dengan 6 variasi kecepatan. Nilai persentase tersebut hanya berlaku ketika angin yang berhembus berada pada sudut optimum terhadap arah gerak kapal atau seperti pada tabel 1.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah didapatkan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Desain flettner rotor untuk kapal kontainer 4000 DWT memiliki dimensi tinggi 18 m dengan diameter 3 m.
2. Perbandingan antara RPM flettner rotor dan kecepatan fluida berbanding lurus dengan gaya dorong yang dihasilkan. Jadi semakin besar RPM flettner rotor atau kecepatan fluida maka semakin besar pula gaya dorong yang dihasilkan.
3. Kontribusi flettner rotor terhadap kecepatan kapal tertinggi ada pada flettner rotor dengan putaran rotor 500 rpm dan kecepatan angin 20 knot pada kapal dengan kecepatan 10 knot yaitu 17,438%. Sedangkan kontribusi terkecil ada pada flettner rotor dengan putaran 100 rpm dan kecepatan angin 5 knot pada kapal dengan kecepatan 16,2 knot yaitu 0,483%

5.2. Saran

1. Pengambilan nilai tekanan pada software Numeca Fine Open memperlambat proses penelitian karena hanya menampilkan dalam bentuk grafik.
2. Untuk kedepannya penelitian dapat dikembangkan dengan melakukan variasi pada dimensi flettner rotor.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

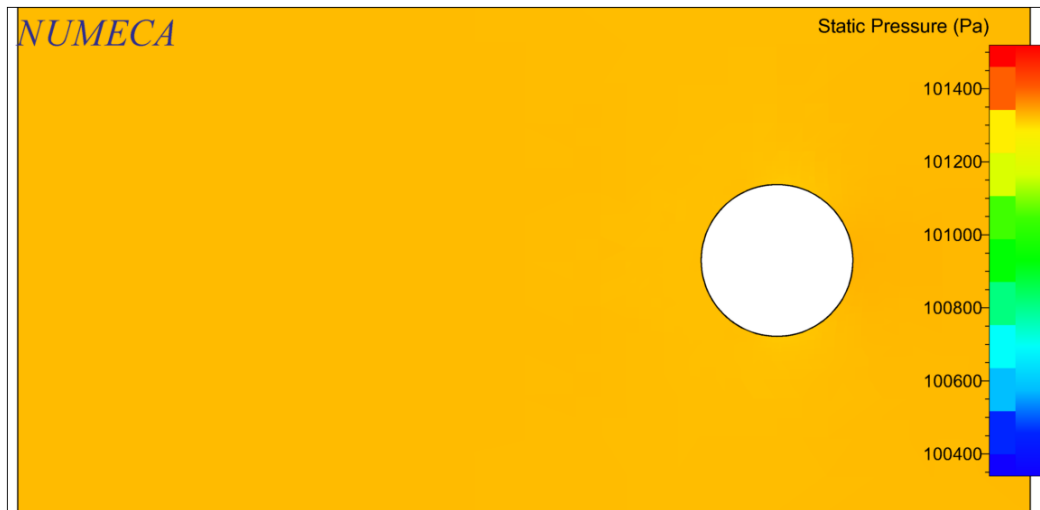
- [1] Traut Michael, et al, [2014], “Propulsive Power Contribution of a Kite and a Flettner Rotor on Selected Shipping Routes”, University of Manchester, United Kingdom.
- [2] Seifert Jost, [2012], “A Review of The Magnus Effect in Aeronautics”, Germany.
- [3] Ali Seyed, et al, [2016], “Aerodynamic Performance of a Circulating Airfoil Section for Magnus Systems via Numerical Simulation and Flow Visualization”, Isfahan University of Technology, Iran.
- [4] Penna Ondra, [2015], “Analisa Aplikasi Flettner Rotor Pada Offshore Support Vessel Panjang 56 Meter Dengan Metode CFD”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [5] Fandy Bestario, [2015], “Analisa Aplikasi Turbin Kobold Blade Kembar Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Dalam Di Bangunan Lepas Pantai”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [6] Ahmad Sedagat, et al, [2015], “Computational Study on Novel Circulating Aerofoils for Use in Magnus Wind Turbine Blades”, Isfahan University of Technology, Islamic Republic of Iran.
- [7] Tim Craft, et al, [2013], “Back to The Future? A Re-examination of The aerodynamics of Flettner-Thom Rotors for Maritime Propulsion”
- [8] T. J. Craft, et al, “Dynamic Performance of Flettner Rotors with and Without Thom Discs”, University of Manchester, Manchester, United Kingdom.
- [9]<http://www.kargonews.com/news/peluang-offshore-support-vessel-tahun-2016>
- [10]<http://jurnalmaritim.com/2015/12/peluang-offshore-support-vessel-tahun-2016/>
- [11]<http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/oil/oil-reserves.html>

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

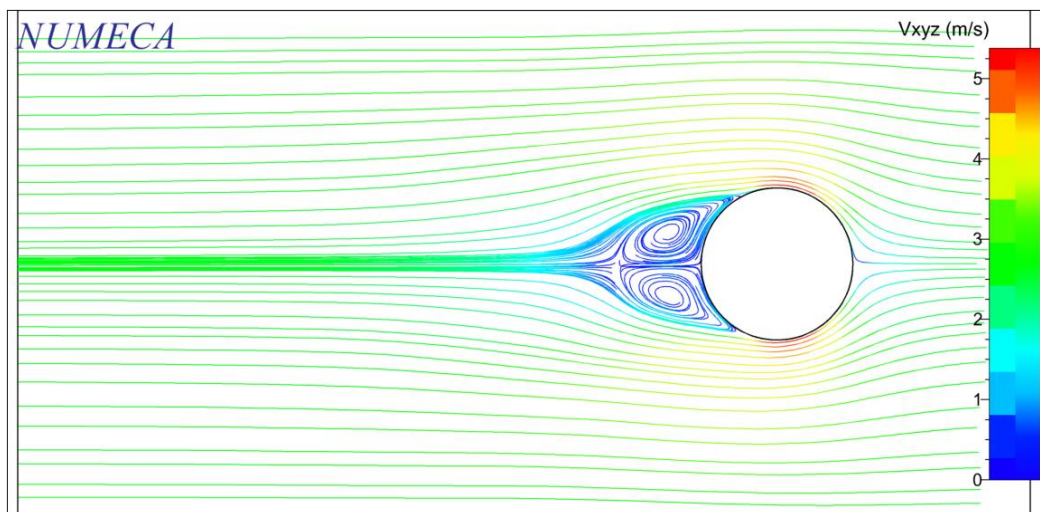
LAMPIRAN

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

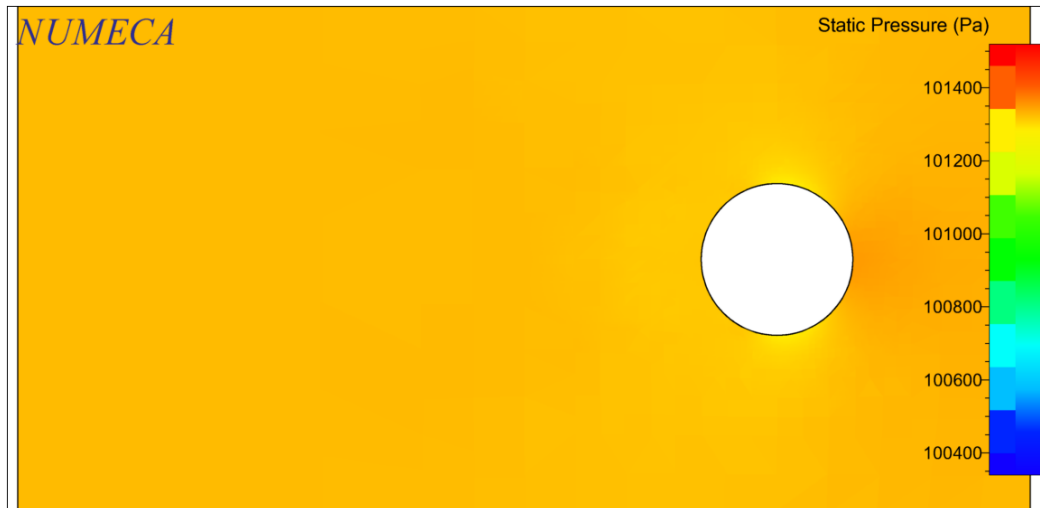
LAMPIRAN



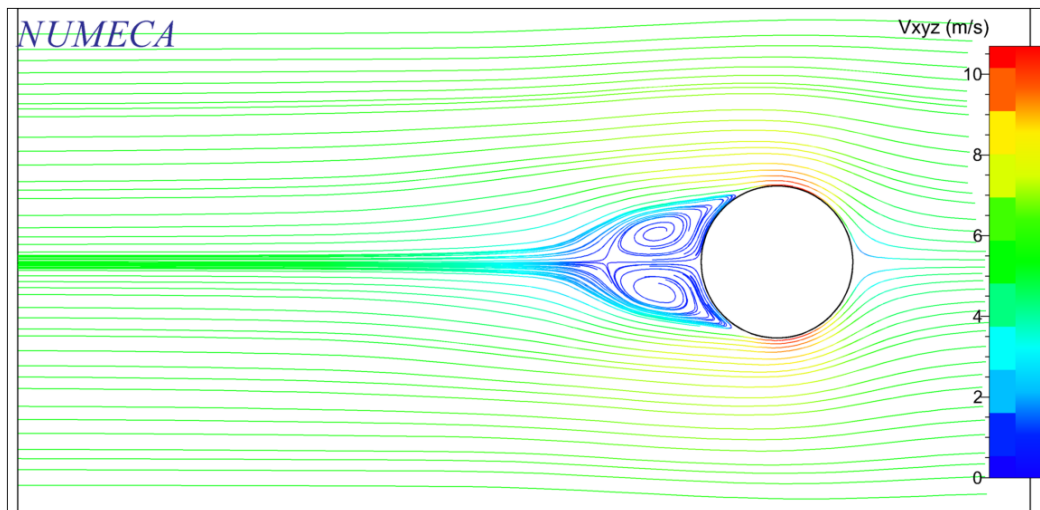
Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 0 rpm dan Kecepatan Angin 5 Knot



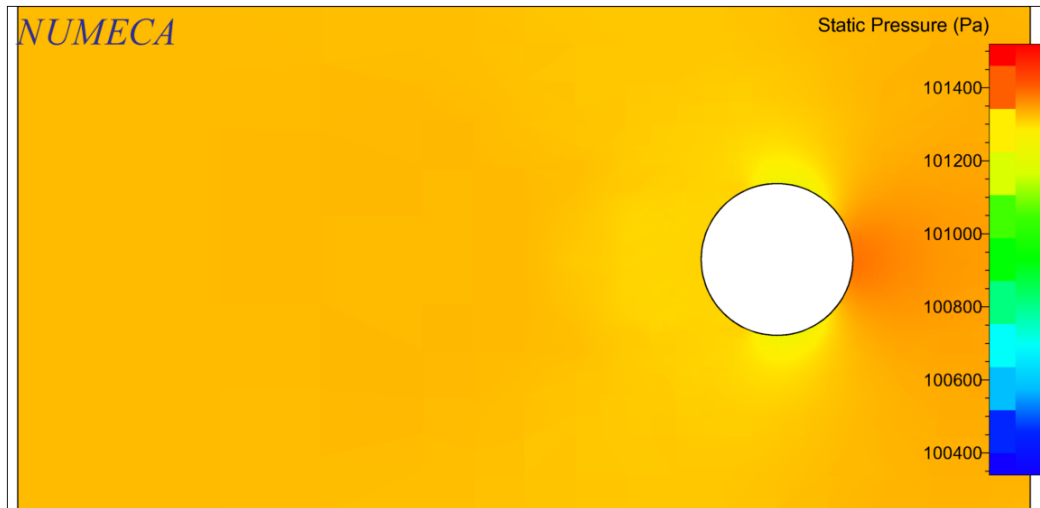
Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 0 rpm dan Kecepatan Angin 5 Knot



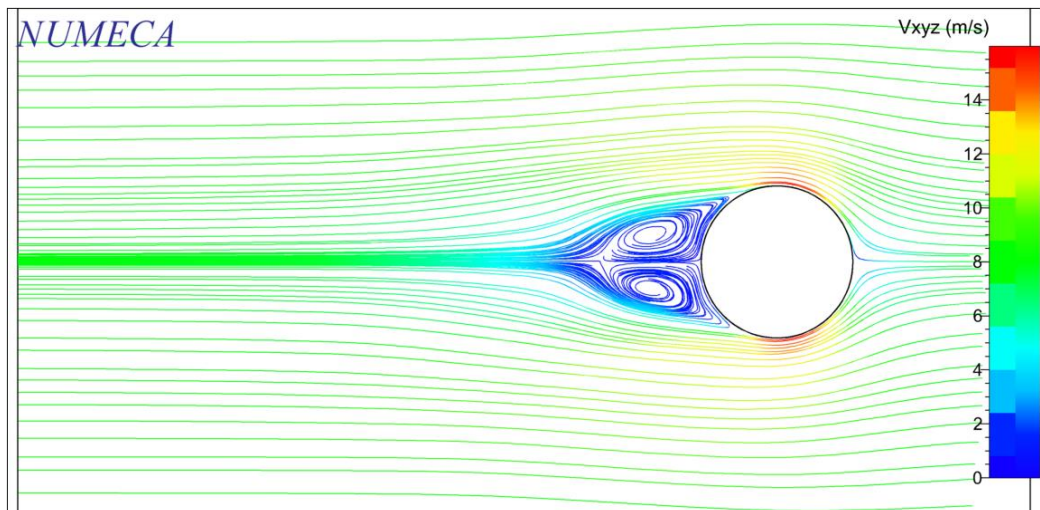
Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 0 rpm dan Kecepatan Angin 10 Knot



Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 0 rpm dan Kecepatan Angin 10 Knot



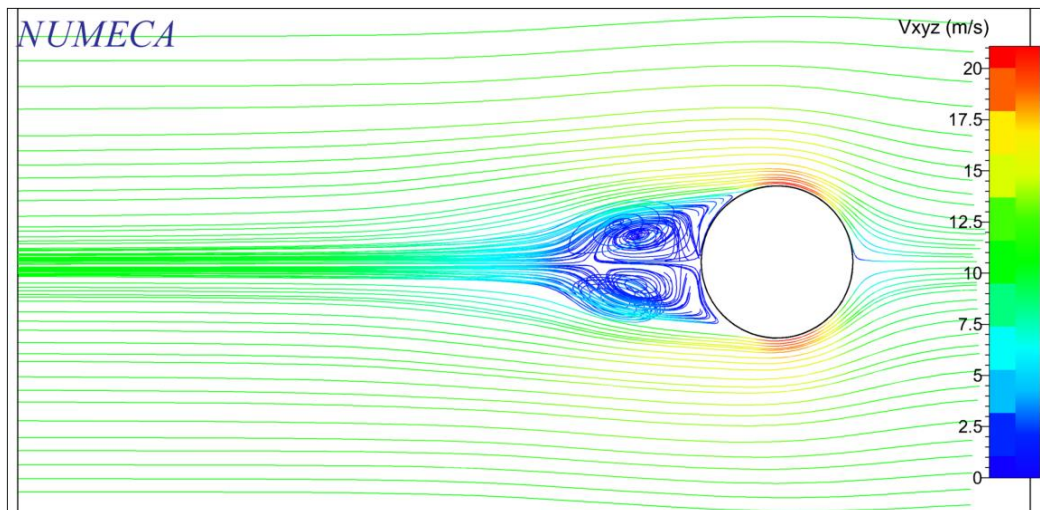
Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 0 rpm dan Kecepatan Angin 15 Knot



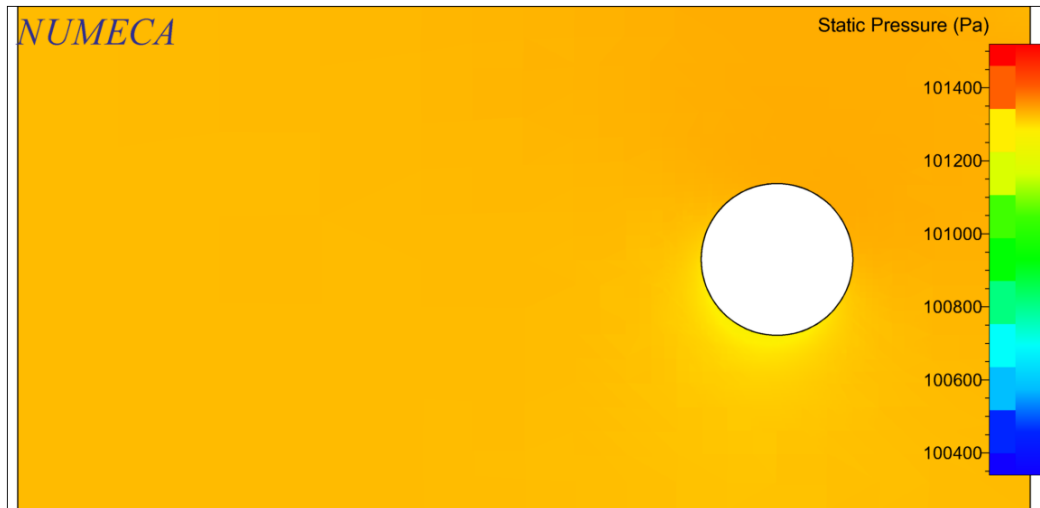
Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 0 rpm dan Kecepatan Angin 15 Knot



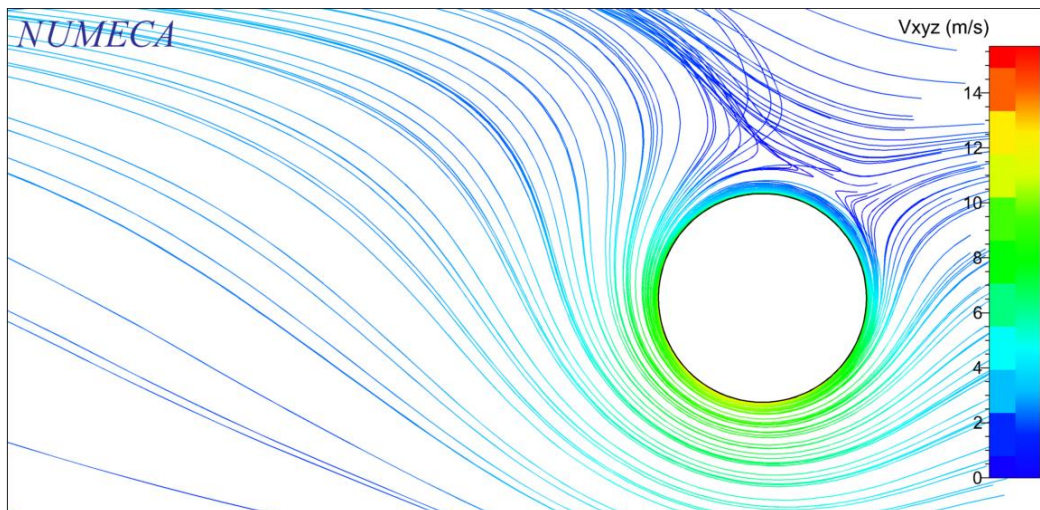
Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 0 rpm dan Kecepatan Angin 5 Knot



Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 0 rpm dan Kecepatan Angin 20 Knot



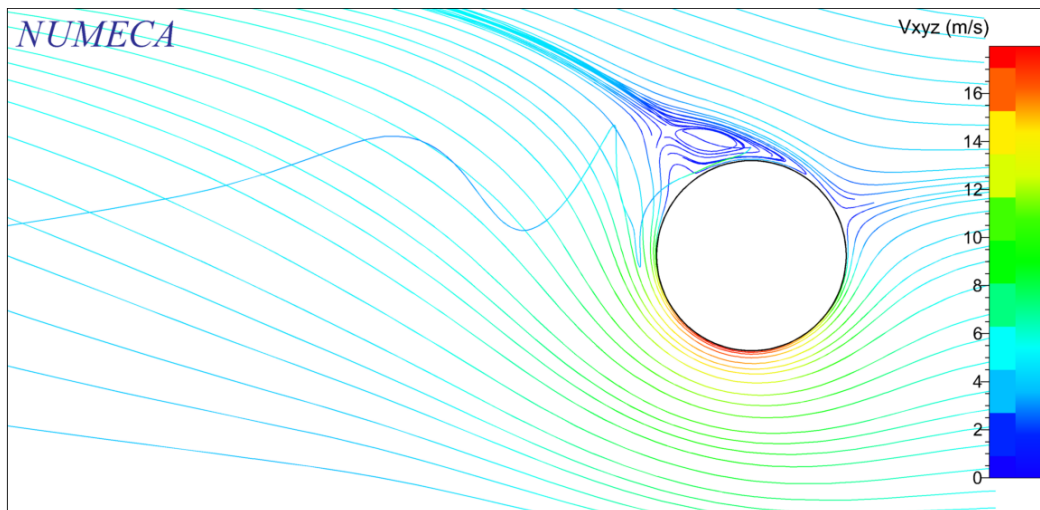
Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 100 rpm dan Kecepatan Angin 5 Knot



Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 100 rpm dan Kecepatan Angin 5 Knot



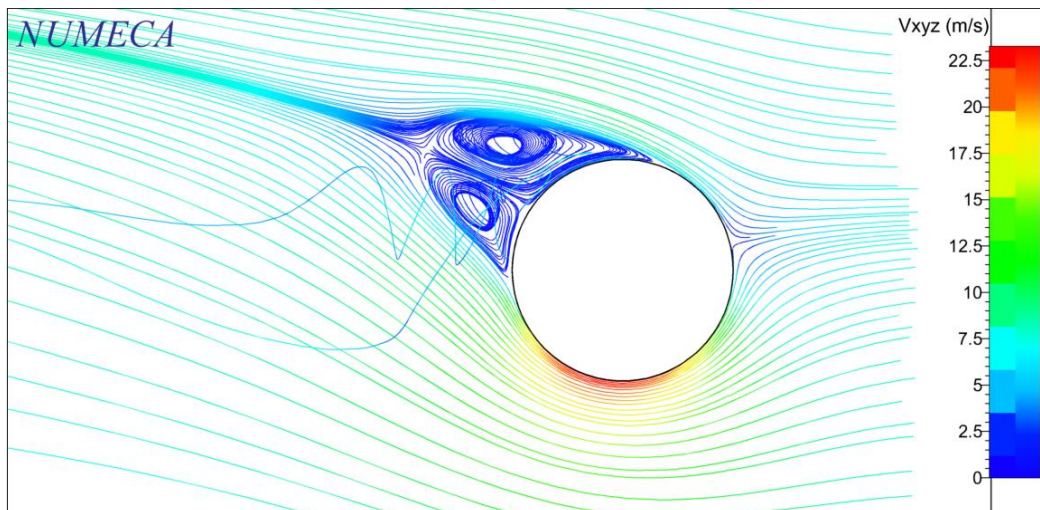
Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 100 rpm dan Kecepatan Angin 10 Knot



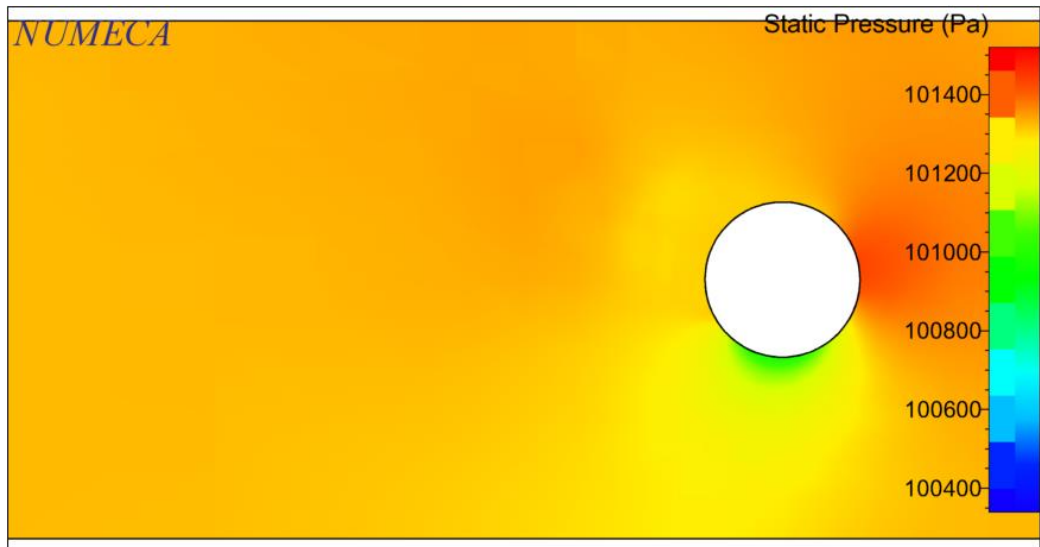
Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 100 rpm dan Kecepatan Angin 10 Knot



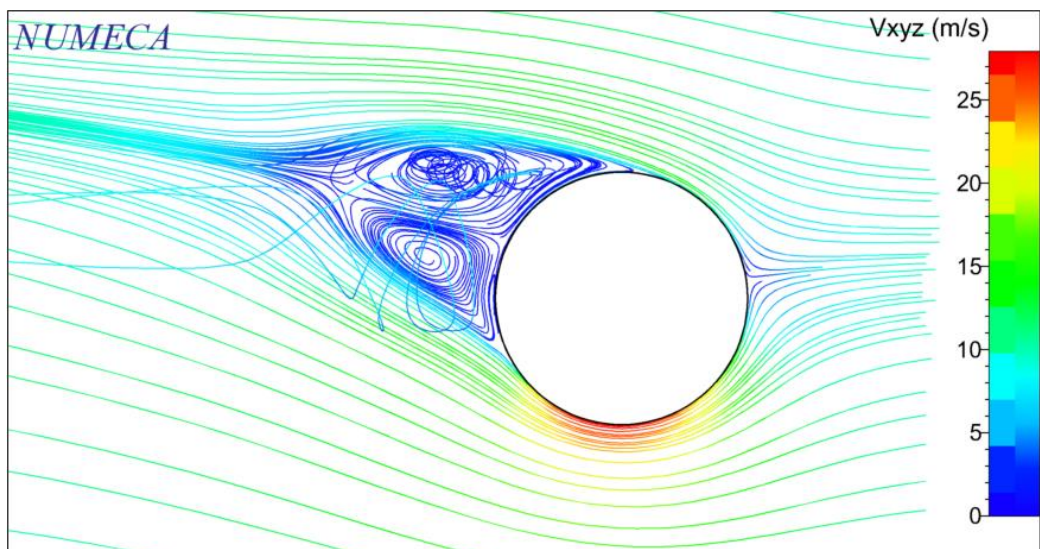
Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 100 rpm dan Kecepatan Angin 15 Knot



Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 100 rpm dan Kecepatan Angin 15 Knot



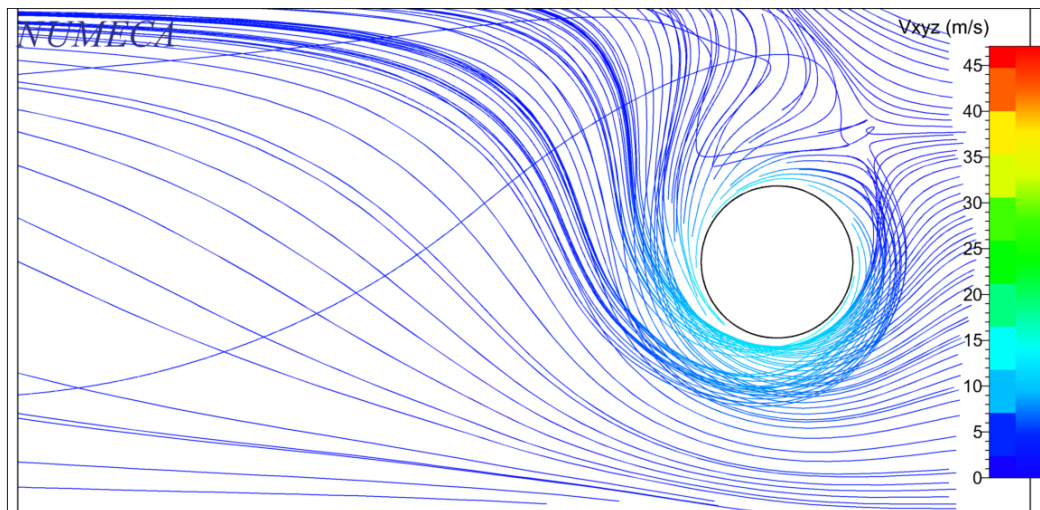
Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 100 rpm dan Kecepatan Angin 20 Knot



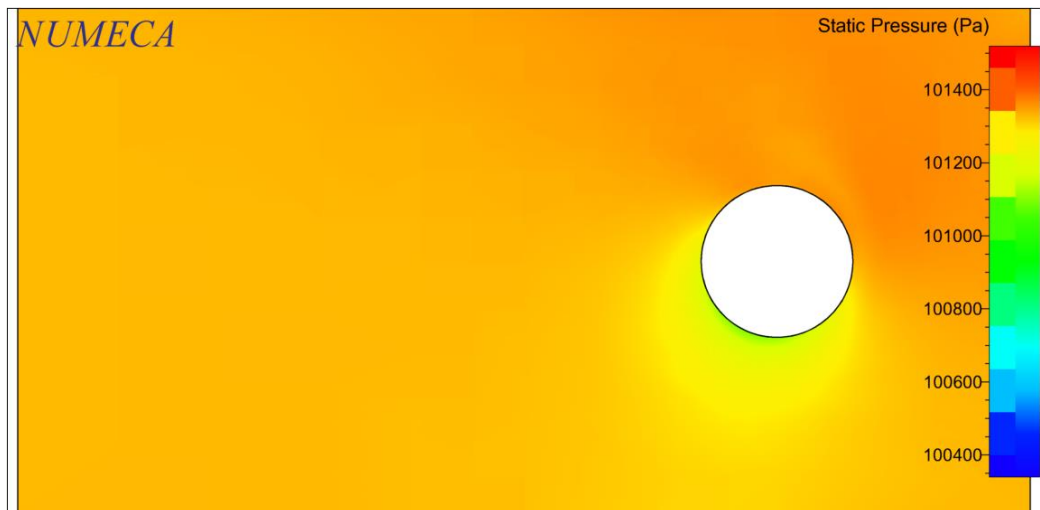
Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 100 rpm dan Kecepatan Angin 20 Knot



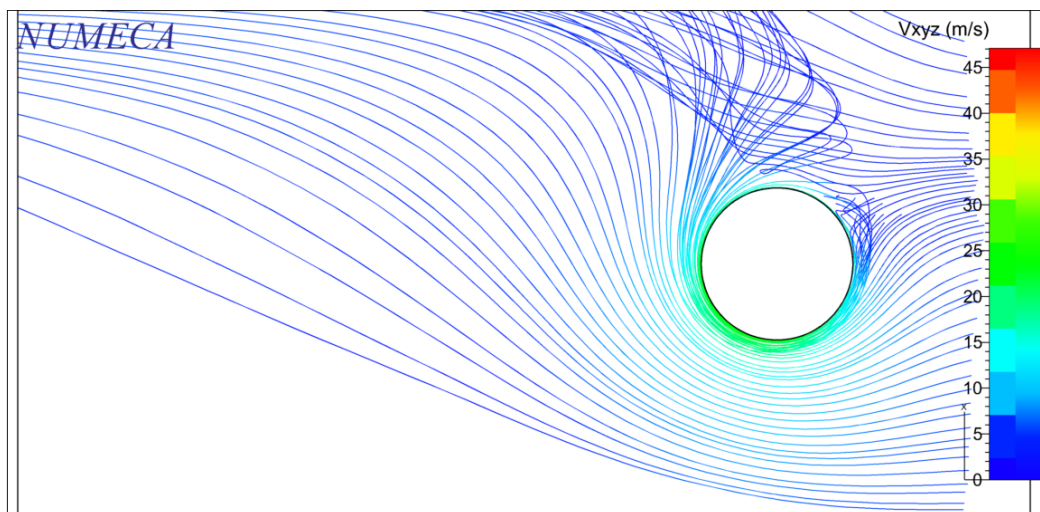
Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 300 rpm dan Kecepatan Angin 5 Knot



Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 300 rpm dan Kecepatan Angin 5 Knot



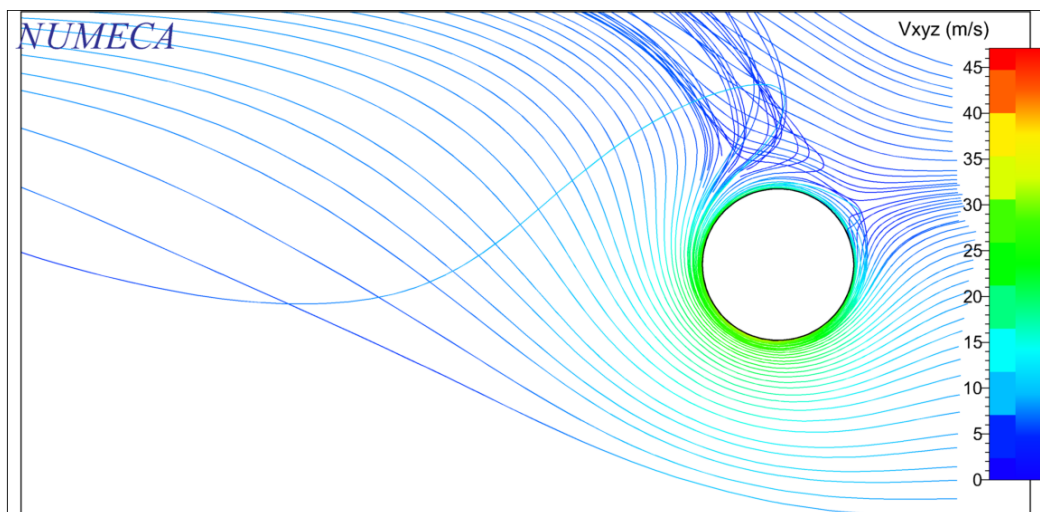
Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 300 rpm dan Kecepatan Angin 10 Knot



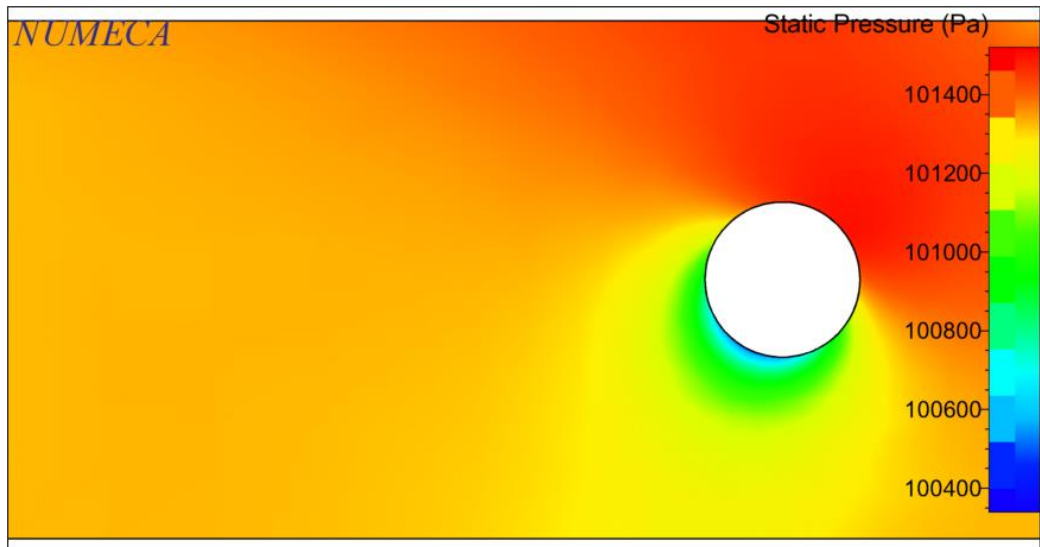
Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 300 rpm dan Kecepatan Angin 10 Knot



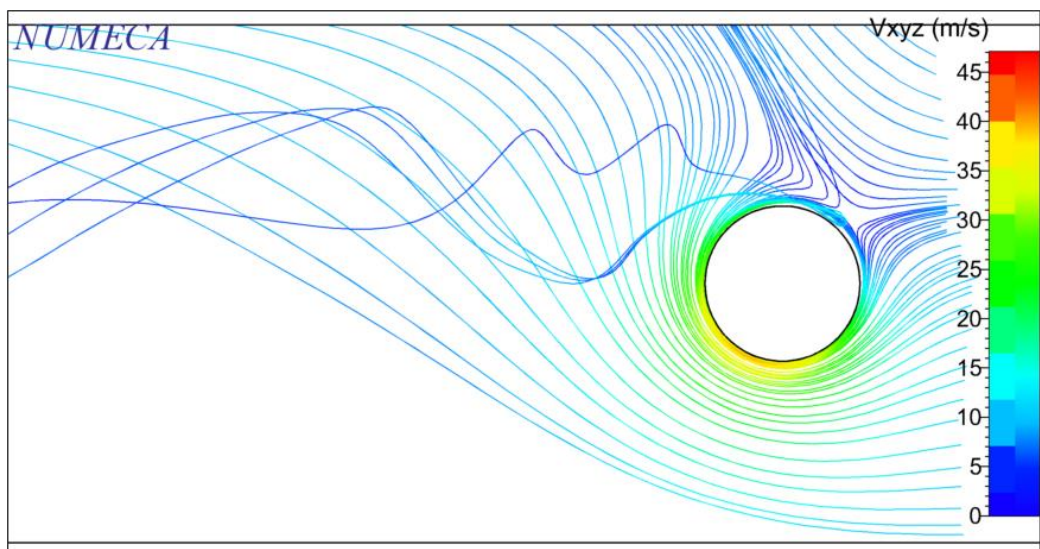
Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 300 rpm dan Kecepatan Angin 15 Knot



Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 300 rpm dan Kecepatan Angin 15 Knot



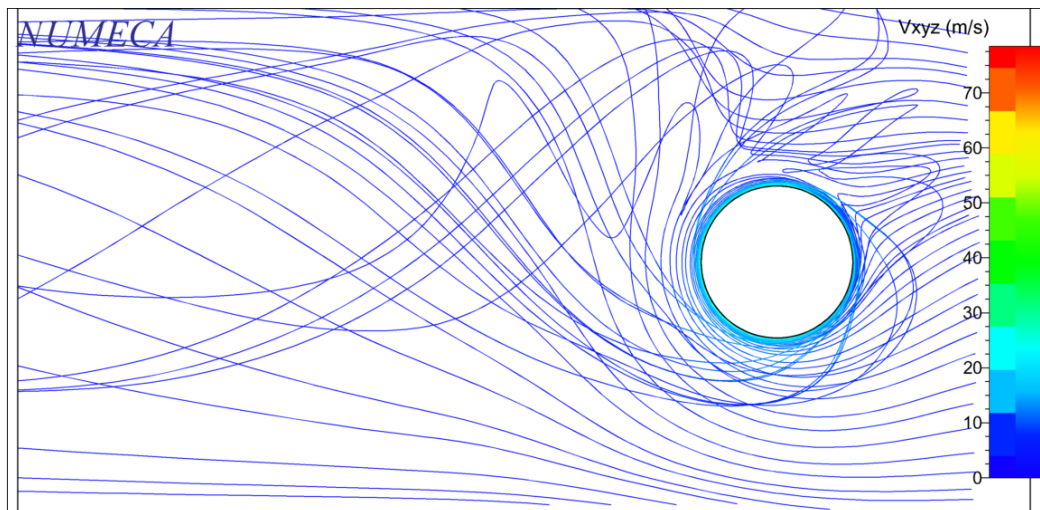
Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 300 rpm dan Kecepatan Angin 20 Knot



Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 300 rpm dan Kecepatan Angin 20 Knot



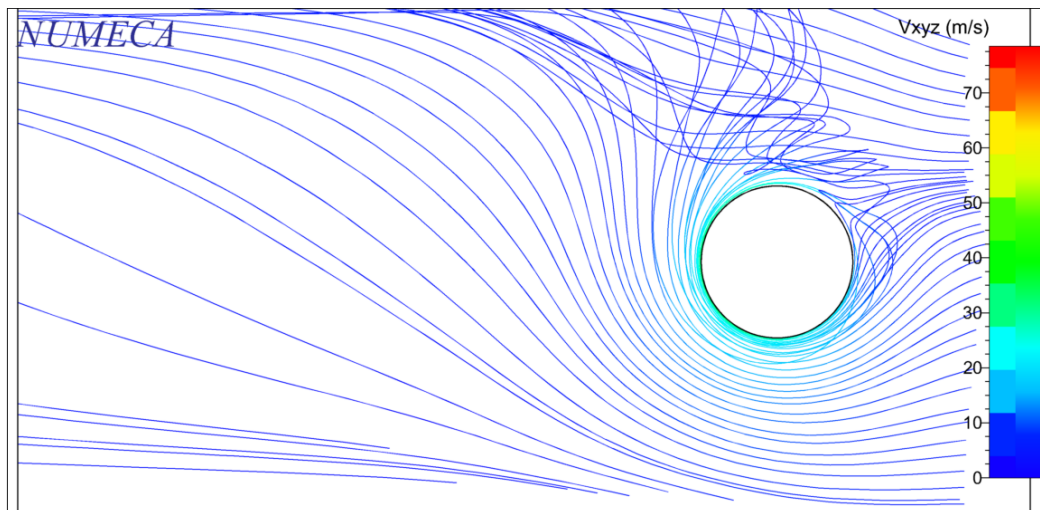
Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 500 rpm dan Kecepatan Angin 5 Knot



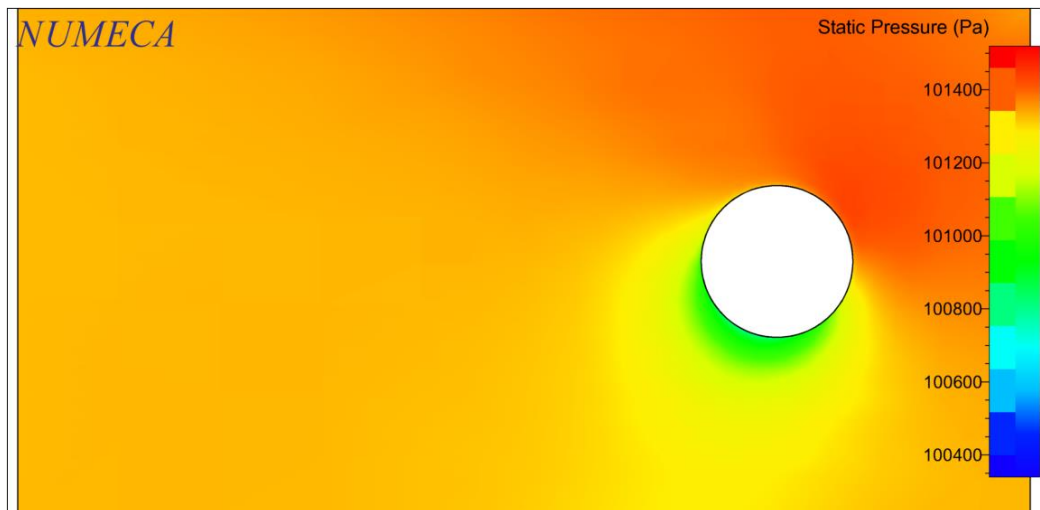
Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 500 rpm dan Kecepatan Angin 5 Knot



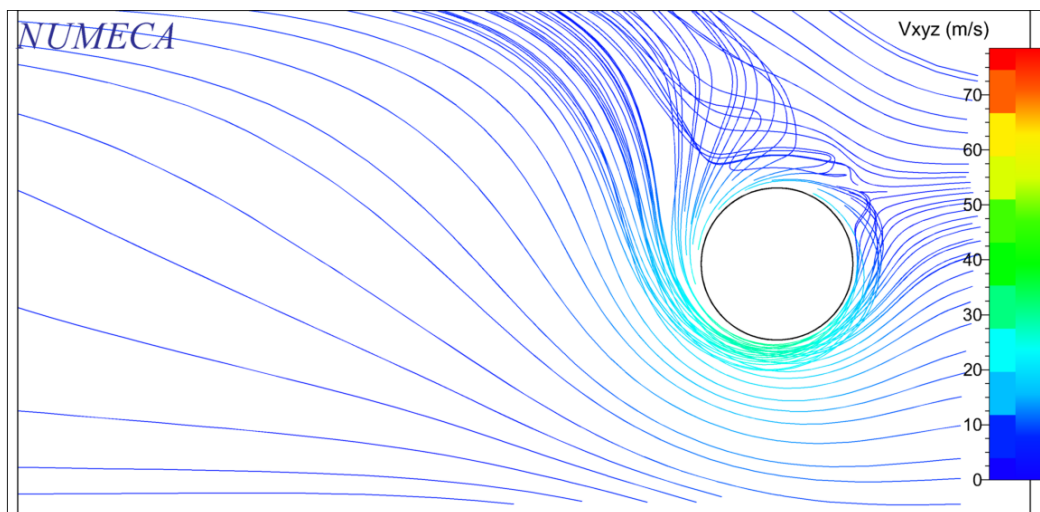
Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 500 rpm dan Kecepatan Angin 10 Knot



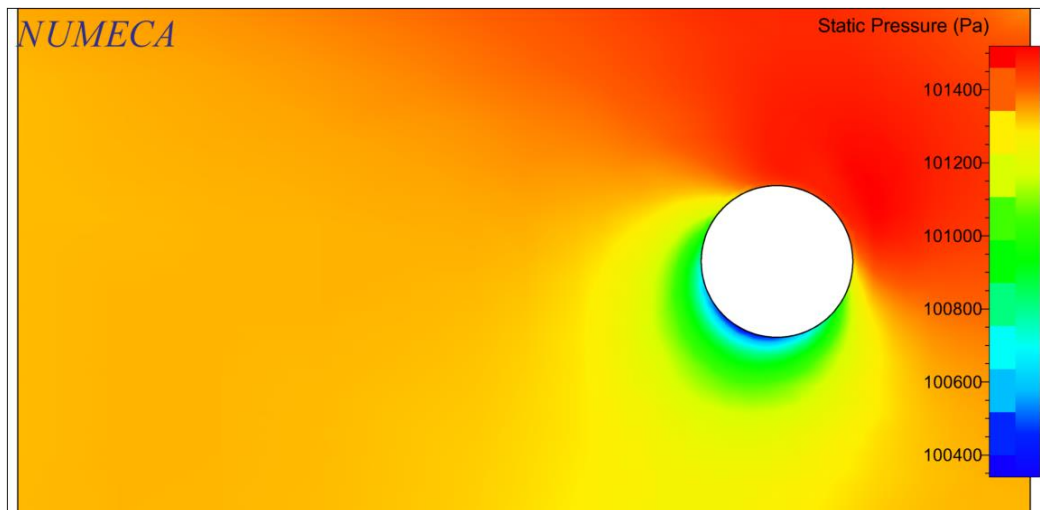
Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 500 rpm dan Kecepatan Angin 10 Knot



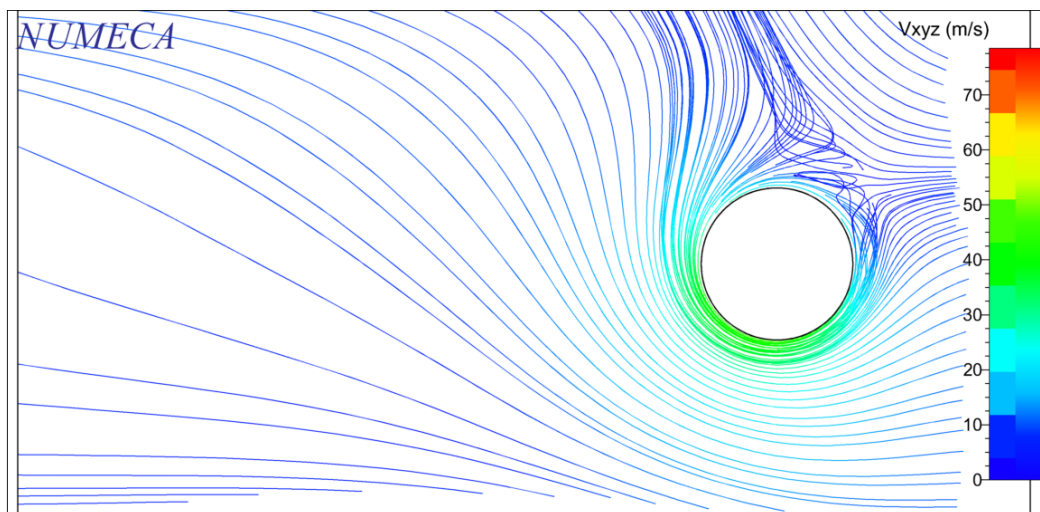
Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 500 rpm dan Kecepatan Angin 15 Knot



Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 500 rpm dan Kecepatan Angin 15 Knot



Distribusi Tekanan Pada Flettner Rotor Dengan Putaran 500 rpm dan Kecepatan Angin 20 Knot



Alur Pergerakan Fluida Ketika Mengenai Flettner Rotor Putaran 500 rpm dan Kecepatan Angin 20 Knot

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Ujung Pandang, 19 November 1993. Penulis merupakan anak kedua dari lima bersaudara dari pasangan suami istri, Awal Bekari dan Eti Juhanawati. Kemudian penulis pindah ke Jakarta untuk memulai pendidikan formal di Play Group Al Khairaat pada tahun 1996 dan dilanjutkan di TKIT Al Khairaat setahun setelahnya. Kemudian pada tahun 1999 hingga tahun 2005 melanjutkan di SD Al Khairaat. Setelah lulus SD penulis pindah ke kota Bogor untuk melanjutkan SMP di Al Kahfi Boarding School hingga tahun 2008 dan lanjut ke jenjang SMA di SMAN 2 Cibinong hingga tahun 2011. Penulis melanjutkan pendidikan Strata-1 di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur SNMPTN (Ujian Tulis). Selama masa sekolah penulis aktif dalam organisasi kerohanian. Penulis juga aktif dalam menjalankan bisnis ketika masa perkuliahan, yang keseluruhan bisnisnya di bidang kuliner. Mulai dari bisnis ketan pisang, roti bakar, dan kebab turki.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan